

Titre: Méthode d'analyse de causes racines supportée par la donnée pour les chaînes d'approvisionnement
Title: Method for root cause analysis supported by data for supply chains

Auteur: Etienne Le Pironnec
Author:

Date: 2021

Type: Mémoire ou thèse / Dissertation or Thesis

Référence: Le Pironnec, E. (2021). Méthode d'analyse de causes racines supportée par la donnée pour les chaînes d'approvisionnement [Master's thesis, Polytechnique Montréal]. PolyPublie. <https://publications.polymtl.ca/9102/>
Citation:

Document en libre accès dans PolyPublie Open Access document in PolyPublie

URL de PolyPublie: <https://publications.polymtl.ca/9102/>
PolyPublie URL:

Directeurs de recherche: Robert Pellerin, & Bruno Agard
Advisors:

Programme: Maîtrise recherche en génie industriel
Program:

POLYTECHNIQUE MONTRÉAL

affiliée à l'Université de Montréal

**Méthode d'analyse de causes racines supportée par la donnée pour les chaînes
d'approvisionnement**

ETIENNE LE PIRONNEC

Département de mathématiques et de génie industriel

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

Génie industriel

Août 2021

POLYTECHNIQUE MONTRÉAL

affiliée à l'Université de Montréal

Ce mémoire intitulé :

Méthode d'analyse de causes racines supportée par la donnée pour les chaînes d'approvisionnement

présenté par **Etienne LE PIRONNEC**

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

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

Martin TRÉPANIER, président

Robert PELLERIN, membre et codirecteur de recherche

Bruno AGARD, membre et codirecteur de recherche

Camélia DADOUCHI, membre

DÉDICACE

À la personne la plus importante,

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier mes directeurs de recherche, M. Robert PELLERIN et M. Bruno AGARD, professeurs à Polytechnique Montréal, pour l'encadrement et le précieux support qu'ils m'ont apportés tout au long du projet d'étude dans des conditions de travail parfois compliquées par la pandémie mondiale.

Mes remerciements s'adressent aussi à l'institut de valorisation de données IVADO avec lequel j'ai pu initier un programme de professionnalisation MITACS qui m'a permis de financer ce projet de recherche et d'initier mon évolution professionnelle.

Je tiens également à remercier M. Timothy AYOUB, instigateur du projet de recherche, Mme. Marie-Annie FAUBERT, Mme Nathalina CRASCI, M. Valery JEUNE et tant d'autres, pour l'aide et la confiance accordée au sein de l'entreprise partenaire du projet de recherche.

Pour finir, je remercie mes proches, mon colocataire et mes collègues de laboratoire pour le support moral et pour leurs encouragements de près ou loin pour effectuer ce parcours de recherche.

RÉSUMÉ

L'utilisation de la donnée s'impose comme une pratique clé dans l'atteinte des objectifs stratégiques et opérationnels des chaînes d'approvisionnement. Toutefois, très peu de méthodes de valorisation de données issues des systèmes de gestion d'entreprises pour supporter la prise de décision au sein de ces dernières sont proposées dans la littérature. Nous avons cherché à combler ce manque en proposant une méthode d'analyse de causes racines supportée par la donnée et appliquée à un cas d'étude dans le secteur du transport urbain.

Nos recherches, basées sur la littérature scientifique et sur les observations réalisées en entreprise, nous ont permis de mieux comprendre les enjeux de la valorisation de données pour supporter la prise de décision au sein des processus d'approvisionnement. Lors de ce projet de recherche, la Société de Transport de Montréal a exprimé le besoin de valoriser la donnée stockée dans son progiciel de gestion d'entreprise pour améliorer ses pratiques d'approvisionnement et la gestion de ses inventaires. La méthodologie DRM (*Design Research Methodology*) a été employée pour répondre à ces besoins. Cette méthodologie de recherche est mixte. Elle lie des études empiriques aux approches scientifiques pour nous permettre de proposer une méthode d'analyse de causes racines supportée par la donnée pour les chaînes d'approvisionnement.

Dans cette proposition, une méthode combinant les avancées scientifiques sur le sujet aux requis indispensables au développement d'une méthode est présentée. Cette méthode d'analyse de causes racines fait intervenir un arbre de causes racines placé dans un outil de forage de la donnée permettant de pointer une procédure corrective à l'émergence d'une non-performance. La méthode proposée prend en considération les besoins et les contraintes du cas d'étude et les lie avec les travaux proposés dans la littérature. Avec la méthode développée, un gestionnaire de chaîne d'approvisionnement est en mesure de répliquer et d'implanter dans ses processus un outil de résolution de problèmes en réalisant rigoureusement les activités des différentes phases proposées dans cette étude. Les intrants, extrants, rôles et les techniques utilisées sont maintenus dans le système d'information de la méthode proposée. L'application de la méthode à un cas concret nous a permis de valider la faisabilité et l'efficacité de cette dernière. Depuis son implantation, la méthode a permis de diminuer la valeur des inventaires du partenaire de 8%, de réduire le taux d'autobus immobilisés par manque d'article de 6% et d'augmenter le taux de service du processus de distribution du partenaire de 16%. Les principales limitations mises en évidence sont la maîtrise

de la donnée du partenaire industriel et la capacité à extraire cette donnée pour la valoriser. Cette étude nous a aussi permis d'analyser les pistes de recherches futures et les voies d'amélioration des travaux présentés dans ce mémoire. À la vue de la durée du projet de recherche qui se limite à huit mois d'étude, nous avons conclu qu'une analyse des performances de la méthode en phase de maturité apporterait beaucoup à la littérature dans le domaine de l'analyse de causes racines supportée par la donnée pour les chaînes d'approvisionnement. Si le cas d'étude nous a permis de définir les fondements de cette dernière, l'analyse des résultats nous a montré qu'une gouvernance de la donnée est requise pour faire performer efficacement la méthode proposée.

ABSTRACT

Data analytics is becoming a key practice in achieving both strategic and operational goals in supply chains. However, very few data enhancement methods are proposed in the literature to support supply chains' decision-making processes. We have sought to fill this gap by proposing a data-driven root cause analysis method applied to an organization managing rolling assets.

Our research, based on the scientific literature and interviews in companies, has allowed us to better assess the issues involved in using data to support decision-making within supply processes. A supply chain manager hoping to leverage the data stored in his information system to support decision-making processes lacks a clear and structured method. For this research study, the Société de Transport de Montréal expressed the need to enhance the data stored in its enterprise management software to improve its procurement practices and inventory management. A Design Research Methodology was used to meet these needs. This research methodology links empirical studies with scientific approaches, which helped us propose a data-driven root cause analysis method for supply chains.

In this proposal, a method combining the scientific advances with the mandatory elements of a method suggested in the litterature is presented. We used a root cause tree set in a data drilling tool that links specifics root causes to identification metrics and corrective procedures to support decision-making in problem-solving phases. We took into consideration the needs and constraints of the case study and linked them with the work proposed in the literature. With the developed method, a supply chain manager can replicate and implement in his processes a problem-solving tool by thoroughly performing the activities of the four phases proposed in this study. Inputs, outputs, roles, and techniques used are maintained in the information system of the proposed method. Applying the method to a case study allowed us to assess the feasibility and effectiveness of our proposal. Since its implementation, the method has helped to decrease the partner's inventory value by 8%, to reduce the rate of buses grounded for lack of material by 6% and increased the service level rate by 16%. We highlighted that mastery of the data and the ability to extract it are the main limitations to build up a data-driven root-cause method to support decision-making process. This study also allowed us to analyze further improvement of the work presented. Because of the duration of the research project, we concluded that an analysis of the method's performances in a more mature phase would add a lot to the literature in the field of data-supported root cause

analysis for supply chains. While the case study allowed us to define the foundations of the method, the analysis of the results showed us that data governance is required to make the proposed method perform effectively.

TABLE DES MATIÈRES

DÉDICACE.....	III
REMERCIEMENTS	IV
RÉSUMÉ.....	V
ABSTRACT	VII
TABLE DES MATIÈRES	IX
LISTE DES TABLEAUX.....	XII
LISTE DES FIGURES	XIII
LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS	XIV
CHAPITRE 1 INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE 2 REVUE DE LITTÉRATURE	4
2.1 L'analyse de causes racines.....	4
2.1.1 Terminologie	4
2.1.2 Étapes et activités de l'analyse causale	6
2.2 Stratégie de recherche et résultats	7
2.2.1 Définition de la stratégie de recherche	7
2.2.2 Méthodes d'analyse de causes racines pour les chaînes d'approvisionnement	12
2.3 Revue critique	22
2.4 Conclusion.....	27
CHAPITRE 3 MÉTHODOLOGIE DE RECHERCHE.....	28
3.1 Introduction	28
3.2 Objectifs de recherche	28
3.3 Méthodologie de recherche	30
3.3.1 Revue de la littérature	31

3.3.2	Observation et analyse du cas d'étude	31
3.3.3	Développement et évaluation de la méthode.....	33
3.3.4	Analyse des résultats	33
3.4	Conclusion.....	34
CHAPITRE 4 ÉTUDE DESCRIPTIVE		35
4.1	Introduction	35
4.2	Mise en contexte.....	35
4.3	Description du cas d'étude	36
4.4	Diagnostic et observations	38
4.4.1	Description de la chaîne d'approvisionnement	38
4.4.2	Collecte d'information sur le terrain	40
4.5	Analyse.....	41
4.6	Conclusion.....	41
CHAPITRE 5 ÉTUDE NORMATIVE.....		43
5.1	Outils d'élaboration du processus	43
5.2	Développement de la méthode	44
5.3	Méthode d'analyse de causes racines pour les chaînes d'approvisionnement	45
5.3.1	Phase de mesure des performances et de définition du problème	45
5.3.2	Phase de recherche de causes	49
5.3.3	Phase d'identification de la cause racine.....	50
5.3.4	Phase d'identification et d'implantation des solutions.....	51
5.4	Processus et diagramme BPMN complet	52
5.5	Conclusion.....	61
CHAPITRE 6 ÉVALUATION DE LA MÉTHODE.....		63

6.1	Introduction	63
6.2	Données recueillies lors de l'application de la méthode	63
6.2.1	Mesure des performances et de définition du problème	63
6.2.2	Phase de recherche de causes	65
6.2.3	Phase d'identification de la cause racine et phase d'identification et d'implantation des solutions	68
6.2.4	Exemple illustratif d'utilisation des outils produits par la méthode.....	70
6.3	Validation, résultats et interprétations.....	73
CHAPITRE 7 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS		77
RÉFÉRENCES		80

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1 Mots-clés par thème de recherche	8
Tableau 2.2 Résultats retenus.....	11
Tableau 2.3 Contribution des auteurs au travers des cinq phases de l'analyse causale	19
Tableau 2.4 Techniques utilisées par les auteurs pour répondre aux trois premières phases de l'analyse de causes racines.....	21
Tableau 2.5 Contribution des auteurs au travers des sous-systèmes de la chaîne d'approvisionnement.....	23
Tableau 2.6 Classification des modèles proposés dans la littérature	25
Tableau 5.1 Processus, intrants, activités, rôles, techniques et extrant de la méthode pour la phase P1.....	57
Tableau 5.2 Processus, intrants, activités, rôles, techniques et extrant de la méthode pour la phase P2.....	58
Tableau 5.3 Processus, intrants, activités, rôles, techniques et extrant de la méthode pour les phases P3 et P4.....	59
Tableau 6.1 Taux de couverture des ruptures	73
Tableau 6.2 Évolution des performances	74

LISTE DES FIGURES

Figure 2.1 Relation de cause à effet, du problème jusqu'à sa cause racine adapté de (ASQ Quality Press, 2021)	5
Figure 2.2 Les cinq étapes du processus d'analyse de causes racines adapté de (ministère de l'Économie et de l'Innovation, 2018).	6
Figure 2.3 Stratégie de recherche	10
Figure 2.4 Processus générique d'analyse de causes racines pour les chaînes d'approvisionnement adapté de Eckert et Hughes (2010)	14
Figure 3.1 Phases de la méthodologie DRM liées aux phases du projet de recherche	31
Figure 4.1 Représentation simplifiée du processus d'approvisionnement de la STM.	40
Figure 5.1 Symboles de cartographie des processus sous le formalisme BPMN tiré de la norme ISO/CEI 19510.	44
Figure 5.2 Phases de la méthode d'analyse de causes racines.	45
Figure 5.3 Processus de mesure des performances et de définition du problème	54
Figure 5.4 Légende de couleur représentant la provenance des activités du processus	54
Figure 5.5 Processus de recherche de causes	55
Figure 5.6 Processus d'identification de la cause racine.....	56
Figure 5.7 Processus d'identification et d'implantation des solutions.....	56
Figure 5.8 Diagramme interrelationnel entre les intrants et les extrants de la méthode	60
Figure 6.1 Arbre de causes racines complet.....	67
Figure 6.2 Compte des ruptures par article	70
Figure 6.3 Ruptures enregistrées par date de besoin	71
Figure 6.4 Identifiant des transferts en rupture	72
Figure 6.5 Évolution de la moyenne du compte des ruptures dans les rapports quotidiens dans la division autobus.....	75

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

ABM	<i>Agent-Based Model</i>
ADS	<i>Anomaly Detection System</i>
ANSI	<i>American National Standards Institute</i>
ASQ	<i>American Society for Quality</i>
BPM	<i>Business Process Management</i>
BPMN	<i>Business Process Modeling Notation</i>
DMAIC	<i>Define, Measure, Analyze Improve and Control</i>
DRM	<i>Design Research Methodology</i>
ECM	<i>Error correction model</i>
ERP	<i>Entreprise Resource Planning</i>
KPI	<i>Key Performance Indicator</i>
MEM	<i>Mandatory Elements of a method</i>
MM	<i>Material Management</i>
MRP	<i>Material Requirement Planning</i>
SKU	<i>Stock keeping units</i>
PN	<i>Petri Net</i>
RCA	<i>Root Cause Analysis</i>
RDD	<i>Regressed Deployment Detection</i>
SCOR	<i>Supply Chain Operation Reference-Model</i>
SKU	<i>Stock Keeping Unit</i>
SOGO	<i>Siemens Oil and Gas Offshore</i>
SSM	<i>Soft Systems Methodology</i>
STM	<i>Société de Transports de Montréal</i>

CHAPITRE 1 INTRODUCTION

La gestion des inventaires joue un rôle majeur dans la pérennité des entreprises, tous domaines confondus. Un des défis inhérents à la gestion de ses stocks est de réussir à atteindre simultanément les objectifs économiques et les objectifs de disponibilité des articles de ses inventaires (Vaez-Alaei et al. 2018). D'un côté, la surestimation grossière des stocks pour s'assurer de répondre à toutes les demandes de ses clients représente des coûts colossaux et consomme du capital pour l'entreprise. De l'autre côté, un manque d'articles mènera à une interruption des services de cette dernière et à des pertes d'opportunités de vente.

La gestion des inventaires s'inscrit dans des chaînes logistiques qui touchent des opérations d'approvisionnement à l'externe, de production, de stockage et de distribution par exemple (Schmidt M. et al., 2019). La performance des chaînes logistiques est un enjeu stratégique de taille dans un environnement professionnel dynamique dans lequel les clients désirent une qualité de service toujours meilleure, toujours plus rapide et personnalisée (Handfield R. et al., 2013). Ces chaînes logistiques peuvent être plus ou moins complexes. Quand elles sont sur plusieurs niveaux; c'est-à-dire que des entités logistiques distribuent des articles à d'autres entités logistiques de plus petite envergure, positionnées sur le terrain, proche des opérations; elles sont appelées chaînes logistiques multi-échelon. Le regarnissage des stocks à l'intérieur de ces chaînes logistiques peut être assuré par des achats de marchandises à l'externe ou par la production de marchandises à l'interne. L'avantage de ces réseaux logistiques est l'implantation de centres de distribution au plus proche du client. Ces centres de distribution captent la demande avec de courts temps de réaction et permettent de réagir à des tendances de besoin par zones ou par clientèle. Elles demandent toutefois plus d'efforts et sont plus difficiles à gérer.

Il peut être difficile de mesurer les performances d'une telle chaîne logistique et de suivre tous les flux de marchandises qui interviennent au niveau des opérations. Des solutions existent pour maîtriser ces flux et les activités de sa chaîne logistique. Une de ces solutions est l'implantation de progiciels de gestion d'entreprise plus connus sous l'acronyme ERP (*Entreprise Resource Planning*). Les ERP peuvent comprendre une multitude de modules qui permettent de gérer les achats, les finances, les plans de production, les stocks, jusqu'aux flux de marchandises dans l'entité logistique dans laquelle ils sont implantés. Pour une entreprise qui gère du matériel roulant,

l'ERP peut permettre d'enregistrer des données sur les flux de pièces de rechange, sur les occurrences de pannes ou sur les opérations d'entretien de ses véhicules.

Les informations recueillies par les ERP représentent une mine d'or pour l'atteinte des objectifs logistiques visés par les entreprises. Elles permettent de connaître les paramètres et les politiques de stockage des articles, d'avoir un profil de demande et de consommation pour chacun des articles détenus dans les inventaires à partir du moment où toute cette information est correctement renseignée dans les données maîtres du logiciel. Des méthodes de valorisation de données appliquées aux données recueillies dans cet ERP peuvent aussi permettre de mettre en évidence des modèles de comportement intuitifs ou non (Lajoie et al. (2019)), de faire des prédictions de demandes grumeleuses dans les points de ravitaillement (Babu et Sastry (2014)) ou de mettre en évidence les causes racines qui mènent à de mauvaises performances logistiques.

L'apport à la recherche que propose ce mémoire réside dans **la proposition d'une méthode d'analyse de causes racines pour supporter la prise de décision en phase de résolution de problèmes** lorsque des mauvaises performances logistiques sont constatées. Cette méthode est novatrice dans la proposition d'une solution supportée par des outils de valorisation et de fouilles de données maintenues dans des ERP. Une méthode d'analyse de causes racines alimentée par les données disponibles dans les systèmes d'information des entreprises est proposée pour les sous-parties de gestion des fournisseurs, de gestion des demandes ainsi que pour le processus de distribution au sein une chaîne logistique multi-échelon. Cette analyse de cause racines pourra seulement se concentrer sur les entités logistiques priorisées grâce à un outil de forage de données. Elle permettra de proposer des solutions pour résoudre des enjeux d'approvisionnement liés à ces entités logistiques qui observent de mauvaises performances selon une métrique d'analyse choisie.

Pour cette étude, la métrique choisie pour mettre en évidence les articles problématiques au niveau des opérations sera le taux de rupture de stock. Les solutions proposées permettront de maintenir des niveaux de stocks et des politiques de stockage en accord avec les besoins exprimés par les clients et avec les objectifs financiers des entreprises.

Ce mémoire est structuré en sept chapitres. Nous commencerons par un état de l'art des avancées technologiques liées à l'analyse de causes racines supportée par la donnée au sein de chaînes d'approvisionnement. Les résultats de cette analyse sont présentés au chapitre 2, ce qui nous permettra d'identifier les opportunités de recherche pour l'étude. Ensuite, le chapitre 3 présentera

les objectifs de recherche suivis de la méthodologie permettant d'atteindre ces derniers avec une analyse de l'existant. Le chapitre 4 décrit le contexte d'une entreprise désireuse d'entreprendre une transformation de ses processus de résolution de problème. Le chapitre 5 présentera la méthode d'analyse de causes racines développée. La validation de la faisabilité et l'analyse des performances de la méthode seront présentées au chapitre 6. Enfin, nous terminerons ce mémoire par une discussion portant sur les contributions scientifiques, les limitations et les opportunités de recherche futures qui découlent de ce travail.

CHAPITRE 2 REVUE DE LITTÉRATURE

Ce chapitre a pour but de recenser les progrès récents liés à notre sujet dans la littérature. Le chapitre débute avec la présentation des termes importants pour conduire une analyse de causes racines suivie des étapes et des activités liées à cette étude. La présentation continue avec la stratégie de recherche permettant d'identifier dans la littérature les travaux des chercheurs en lien avec le sujet. Les articles retenus seront alors présentés. Le chapitre se conclut sur une revue critique de ces articles qui vise à mettre en évidence les limitations et les faiblesses des travaux retenus afin d'identifier les objectifs de recherches de ce projet d'étude.

2.1 L'analyse de causes racines

Cette section a pour but d'introduire les méthodes d'analyses de causes racines supportées par la donnée au sein de chaînes d'approvisionnement en y abordant la terminologie et les traits essentiels associés.

2.1.1 Terminologie

L'ASQ (American Society for Quality), propose une définition de l'analyse de causes racines (« Root cause analysis ») comme suit :

“A root cause is defined as a factor that caused a nonconformance and should be permanently eliminated through process improvement. The root cause is the core issue—the highest-level cause—that sets in motion the entire cause-and-effect reaction that ultimately leads to the problem(s).

Root cause analysis (RCA) is defined as a collective term that describes a wide range of approaches, tools, and techniques used to uncover causes of problems. Some RCA approaches are geared more toward identifying true root causes than others, some are more general problem-solving techniques, and others simply offer support for the core activity of root cause analysis.” (ASQ Quality Press, 2020).

Une cause racine est donc à l'origine d'une chaîne d'évènements qui mènent à un problème. Elle est la cause fondamentale du problème, le cœur du phénomène de non-conformité que l'on observe par le biais de causes intermédiaires et de symptômes comme sur la figure 2.1. Cette cause racine peut être mise en évidence par des méthodes d'analyses de causes racines. L'analyse de causes racines est un terme générique pour décrire les approches, outils et techniques de mise en évidence et de résolution de problèmes. La grande idée de l'analyse de causes racines est de dire que toute non-performance dans un système quelconque est issue d'un effet de causalité en chaîne que l'on peut remonter et résoudre pour pallier cette non-performance.

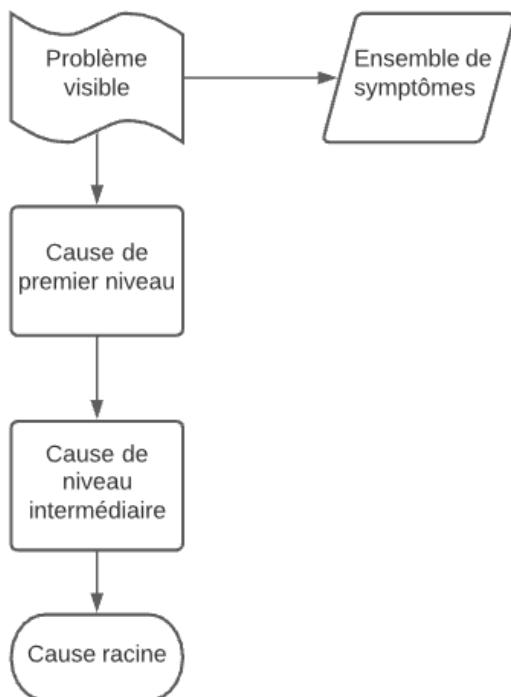


Figure 2.1 Relation de cause à effet, du problème jusqu'à sa cause racine adapté de (ASQ Quality Press, 2021)

Claude Bernard, considéré comme le fondateur de la médecine expérimentale, dans son œuvre Introduction à l'étude de la médecine expérimentale (1865) exprime la pensée suivante :

« L'esprit de l'homme ne peut concevoir un effet sans cause, de telle sorte que la vue d'un phénomène éveille toujours en lui une idée de causalité. Toute la connaissance humaine se borne à remonter des effets observés à leur cause ».

Le fondement de l'analyse de causes racines prend alors tout son sens. L'analyse de causes racines que l'on appellera aussi analyse causale est une approche que l'on retrouve dans tous les domaines. Elle permet d'expliquer la cause d'une pathologie en médecine, les fondements d'une névrose en psychanalyse, ou encore les raisons de la non-conformité de pièces en sortie de lignes de production.

Dans le cas de notre projet de recherche, basé sur l'analyse de causes racines supportée par la donnée dans des chaînes d'approvisionnement, les symptômes seront les effets sur la performance de la chaîne d'approvisionnement et les causes racines seront les causes fondamentales qui permettront d'expliquer les non-conformités logistiques.

2.1.2 Étapes et activités de l'analyse causale

Le processus général pour conduire une analyse de causes racines (figure 2.2) comprend cinq étapes importantes : (1) l'identification du problème, (2) la collecte d'information, (3) l'identification de toutes les causes possibles, (4) l'identification de la cause racine, et enfin, (5) la proposition et l'implantation de solutions (ministère de l'Économie et de l'Innovation, 2018).

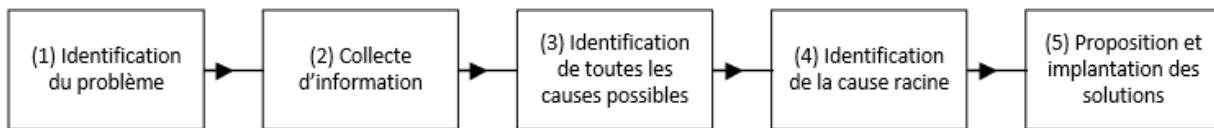


Figure 2.2 Les cinq étapes du processus d'analyse de causes racines adapté de (ministère de l'Économie et de l'Innovation, 2018).

La première étape consiste à reconnaître le problème observé via les symptômes qu'il déclenche. Ces symptômes doivent servir d'alertes pour identifier la situation problématique. Une fois cette situation mise en évidence, il faut lui donner un nom, il faut comprendre quelle est l'alerte qui nous a permis de l'identifier et garder un suivi temporel de l'occurrence de cette dernière. La seconde étape de l'analyse de cause racine est la collecte d'information, elle consiste à renseigner le problème : depuis combien de temps existe-t-il ? Quel est l'impact de ce problème ? Cela consiste à récolter toute l'information disponible pour décrire le problème afin de passer à la troisième étape, l'étape d'identification de toutes les causes possibles. Elle vise à identifier l'ensemble des causes pouvant mener à l'émergence du problème. Dans cette troisième étape, il faut identifier la

séquence d'évènements qui a mené au problème, les conditions qui ont permis l'émergence du problème, etc. L'équipe responsable de la conduite de l'analyse de causes racines peut procéder à une recherche de causes en se posant la question du « pourquoi » jusqu'à avoir identifié toutes les causes imaginables. Elle peut construire des diagrammes de causes à effets pour représenter la situation dans son ensemble. La quatrième étape du processus d'analyse de causes racines est l'identification de la cause racine. Son but est de déterminer, parmi toutes les causes mises en lumière dans l'étape 3, celle qui est fondamentalement responsable du problème. Beaucoup d'enjeux techniques résident dans cette phase. Souvent, la connaissance des experts dans le domaine permet d'atteindre une bonne identification de la cause racine. Enfin, l'ultime phase du processus consiste à recommander et à implanter une solution pour répondre au problème constaté.

La stratégie présentée est applicable à n'importe quel domaine. Les concepts de problèmes et de causes sont évidemment différents d'un secteur à un autre. Toutefois, la méthode de mise en évidence des causes pour expliquer un problème est universelle. Pour notre étude, nous nous focaliserons sur l'analyse de causes racines supportée par la donnée maintenue dans des systèmes d'information d'entreprises pour les chaînes d'approvisionnement.

2.2 Stratégie de recherche et résultats

2.2.1 Définition de la stratégie de recherche

La revue de littérature est effectuée sur la base de citations et de résumés scientifiques Scopus. Scopus est la plus grande base de données de documents scientifiques en ligne. Elle offre une vue d'ensemble des progrès technologiques dans de multiples domaines comme la science, la technologie, les arts, la médecine, etc. Elle a permis d'identifier les articles proposant des méthodes d'analyse de causes racines supportées par des indicateurs de performances pour les chaînes d'approvisionnement d'entreprise qui gèrent des actifs de manière générale.

Une revue de littérature préliminaire non systématique nous a permis d'identifier trois thèmes pour conduire la sélection de publications pertinentes pour ce travail de recherche. Ces trois thèmes sont **l'analyse de causes racines, les chaînes d'approvisionnement et les indicateurs de performance**. Pour identifier les termes de recherches adéquats à chacun de ces thèmes, une stratégie de recherche itérative a été conduite. Dans un premier temps, une recherche avec les mots-clés « Supply chain » OR « inventory management » OR « procurement » AND « Key

performance indicator » OR « KPI » OR « data » AND « Root cause analysis » OR « RCA » OR « root causes » a sorti une centaine de résultats.

À partir de ces résultats, nous avons analysé les mots-clés dans les articles et ceux des index proposés par Scopus pour mettre en évidences d'autres termes utilisés par les auteurs dans leurs travaux en lien avec notre étude. Le tableau 2.1 ci-dessous répertorie les mots-clés identifiés pour chacun de ces thèmes.

Tableau 2.1 Mots-clés par thème de recherche

Analyse de causes racines	Indicateurs de performances	Chaînes d'approvisionnement
« Root cause analysis » OR « RCA » OR « causal factor » OR « root cause » OR “root causes” OR « diagnostic »	« KPI » OR « Key performance indicator » OR « dashboard »	« supply chain » OR « inventory management » OR « asset management » OR « procurement » OR « logistics » OR « warehouse »

Une restriction de recherche des mots-clés aux titres et aux résumés est appliquée sans restriction de date de publication. Cette première recherche sort 37 résultats avec de nombreuses contributions scientifiques dans le domaine de la santé. Ces contributions adressent majoritairement des enjeux d'identification de caractéristiques physiologiques chez les patients qui mènent à des pathologies données. Ces contributions doivent être écartées car elles ne permettent pas de positionner l'analyse de causes racines dans le domaine de résolution de problèmes pour les chaînes d'approvisionnement. Après avoir éliminé les contributions trop éloignées des problématiques liées aux chaînes d'approvisionnement, il ne reste plus que 14 contributions pertinentes. Nous expliquons la présence de beaucoup d'articles éloignés du sujet par la présence de termes comme « procurement » ou « logistics » ou « warehouse » dans notre dernier thème de recherche. Ce sont des termes qui ne sont pas seulement liés aux chaînes d'approvisionnement dans l'industrie.

Pour garder un suivi des nouvelles publications sur le sujet, une alerte a été placée sur la stratégie de recherche finale. Certains travaux de recherche ont demandé des requêtes d'accès. Parmi les auteurs contactés, certains n'ont pas répondu. Cela a restreint la liste à 12 contributions. La lecture des références de ces articles, des publications qui m'ont été conseillées et des recherches supplémentaires sur google scholar ont permis d'identifier d'autres contributions scientifiques

pertinentes pour ce mémoire jusqu'à atteindre un nombre de 21 références bibliographiques. Enfin, après lecture complète des articles sélectionnés, une liste finale de 17 publications scientifiques a été établie. La figure 2.3 résume la stratégie de recherche dans son ensemble ainsi que les volumes de contributions scientifiques à chacune des étapes. Enfin, le tableau 2.2 présente la liste finale des articles sélectionnés pour l'analyse critique. Divers secteurs d'activités s'intéressent à l'analyse de causes racines pour les chaînes d'approvisionnement supportée par des indicateurs de performance dans le but d'améliorer la performance de leurs activités logistiques. La pluralité des secteurs d'activité représentée vient appuyer l'intérêt de l'étude pour les gestionnaires de chaînes d'approvisionnement.

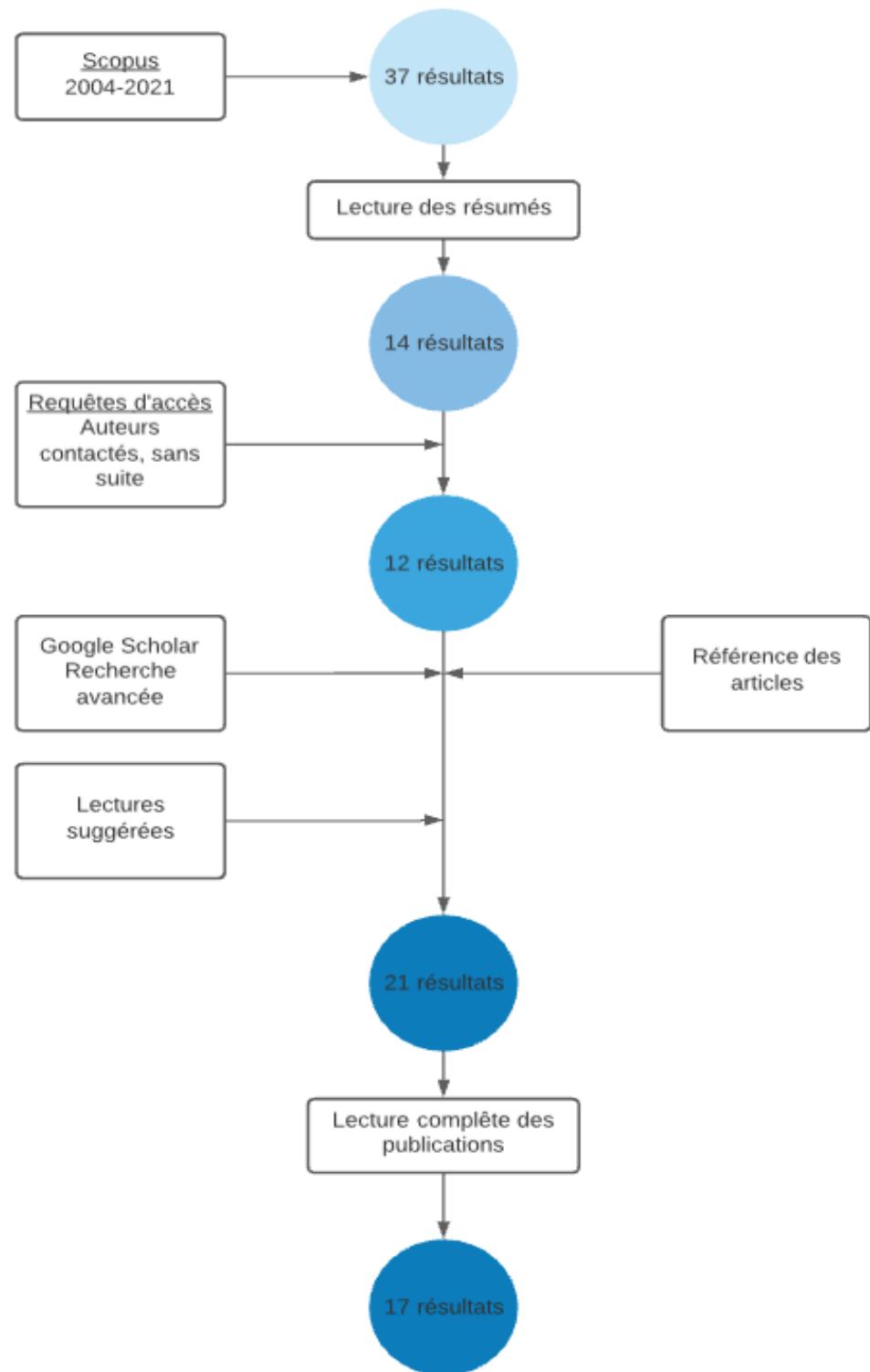


Figure 2.3 Stratégie de recherche

Tableau 2.2 Résultats retenus

	Auteurs	Articles	Nature de la proposition
1	Bangari et al. (2019)	Improving equipment reliability and availability through real-time data	Tableau de bord de gestion d'actifs
2	Burnia et al. (2019)	Resolving ERP Issues in A Small Medium Company: A Case of PT Mega Eltra	Méthode
3	Demarne et al. (2020)	Reliability Analytics for Cloud Based Distributed Databases	Méthode
4	Dumitrascu et al. (2020)	Performance evaluation for a sustainable supply chain management system in the automotive industry using artificial intelligence	Méthode
5	Eckert et Hughes (2010)	The root of the cause	Méthode
6	Baryannis et al. (2018)	Supply chain risk management and artificial intelligence: state of the art and future research directions	Etat de l'art
7	Janeš et Faganel (2013)	Instruments and methods for the integration of company's strategic goals and key performance indicators	Méthode
8	Härtel et Nyhuis (2019)	Systematic Data Analysis in Production Controlling Systems to Increase Logistics Performance	Méthode
9	Blos et al. (2018)	A framework for designing supply chain disruptions management considering productive systems and carrier viewpoints	Méthode
10	Giannakis et Louis (2011)	A multi-agent-based framework for supply chain risk management	Méthode
11	Mezouar et El Afia (2019)	Proposal for an approach to evaluate continuity in service supply chains: case of the Moroccan electricity supply chain	Méthode
12	Nnamdi (2018)	Strategies for managing excess and dead inventories: A case study of spare parts inventories in the elevator equipment industry	Méthode
13	Piovesan et al. (2009)	An intelligent platform to manage offshore assets	Tableau de bord de gestion d'actifs
14	Handfield et al. (2013)	Trends and Strategies in Logistics and Supply Chain Management	Etat de l'art
15	Schmidt et al. (2019)	Data based root cause analysis for improving logistic key performance indicators of a company's internal supply chain	Méthode

Tableau 2.2 Résultats retenus (suite et fin)

16	Settemsdal (2019)	Highly scalable digitalization platform for oil and gas operations enables total asset visibility for predictive, condition-based fleet management across single and multiple sites	Tableau de bord de gestion d'actifs
17	Tufano et al. (2018)	Time and space efficiency in storage systems: a diagnostic framework	Méthode

Pour classer les contributions scientifiques de cette revue de littérature nous avons proposé une subdivision par nature de proposition. Nous retrouvons dans cette classification les propositions de type « État de l’art » qui offrent une revue des avancées technologiques ou des tendances à suivre dans le domaine de l’analyse de causes racines pour les chaînes d’approvisionnement ; les contributions qui proposent une « Méthode » que nous évaluerons dans la revue critique de la littérature et les contributions qui proposent des « Tableaux de bord de gestion d’actifs » pour des entreprises qui performent leurs opérations d’approvisionnement dans une chaîne d’approvisionnement dont le but est de mettre en service des actifs roulants. Les 17 contributions scientifiques retenues pour ce projet de recherche seront présentées et critiquées dans le but d’identifier les points forts et les défauts des propositions des chercheurs ainsi que pour identifier les opportunités de recherche dans le domaine de l’analyse de causes racines supportée par la donnée pour les chaînes d’approvisionnement.

2.2.2 Méthodes d’analyse de causes racines pour les chaînes d’approvisionnement

Les chaînes d’approvisionnement jouent un rôle de plus en plus important dans la performance et la compétitivité des entreprises dans un environnement hautement dynamique et complexe. Les clients exigent des services toujours plus rapides et personnalisés ce qui soulève de nouveaux enjeux pour les gestionnaires de chaînes d’approvisionnement (Handfield et al., 2013).

Sur les dix-sept articles précédemment sélectionnés, douze proposent un processus partiel ou complet d’analyse de causes racines et deux discutent des phases et des activités de l’analyse de causes racines pour des chaînes d’approvisionnement. Trois contributions adressent les enjeux de l’analyse de causes racines par le biais de tableaux de bord de suivi des actifs en fonctionnement.

Enfin, les deux derniers articles de cette revue de littérature mettent en avant les tendances, les stratégies et les enjeux contemporains aux chaînes d'approvisionnement.

2.2.2.1 Phases et activités de l'analyse de causes racines pour les chaînes d'approvisionnement

Eckert et Hughes (2010) constatent les enjeux et bénéfices de la décentralisation et de l'extension des chaînes d'approvisionnement à la suite du projet B 787 Dreamliner de Boeing quelques années auparavant. Les auteurs relèvent alors les difficultés de la gestion de telles chaînes d'approvisionnement et proposent une ligne de conduite pour supporter les opérations de ces dernières. Dans cette ligne de conduite, les auteurs s'attardent sur quatre phases et étapes pour mener à bien une analyse de causes racines pour ces chaînes d'approvisionnement hautement complexes. La première phase de consiste à **définir et reconnaître le problème** rencontré. Lors de cette première étape, la sélection et la mise en place d'indicateurs de performances et de seuils d'acceptabilité associés sont recommandées. De cette façon, le dépassement d'un des seuils sur les indicateurs de performance déclenche le processus d'analyse de causes racines. Cette première phase de reconnaissance et de définition du problème revient à nommer le problème, renseigner le seuil dépassé, la date d'occurrence de la non-conformité, le lieu d'apparition du problème dans la chaîne d'approvisionnement ainsi que l'impact observé sur la performance de cette dernière. La deuxième activité de l'analyse de causes racines est **l'identification des causes**. Les auteurs recommandent à l'équipe d'analystes de déconstruire le problème en identifiant deux types de causes: les causes catalyseurs aux occurrences difficilement prévisibles et les causes plus stables dans le temps. Ils recommandent de se poser la question du « pourquoi » jusqu'à ce que l'exploration des causes imaginables soit jugée assez large pour représenter le problème avec précision. La troisième étape de l'analyse de causes racines est **l'identification des solutions**. Une solution effective doit contrôler les causes identifiées. Plusieurs solutions sont imaginables pour éviter que le problème ne soit rencontré à nouveau. L'ultime phase de l'analyse de causes racines concerne **l'implantation de solutions**. Pour mener à bien l'analyse de causes racines, les auteurs soulignent le besoin d'implanter des solutions de manière efficace et d'évaluer la performance de ces solutions dans le temps par un suivi rigoureux.

Mezouar et El Afia (2019) s'intéressent à une approche pour évaluer la continuité du service d'approvisionnement dans le cas d'un distributeur d'énergie dans un réseau électrique marocain.

Cette approche en cinq phases se base sur la méthode DMAIC des projets six sigmas qui visent à définir, mesurer, analyser, améliorer et contrôler le processus logistique d'un distributeur d'électricité marocain. Les auteurs proposent d'enrichir cette méthode avec les principes du BPM (*Business Process Management*), du SCOR (*Supply Chain Operation Reference-model*) et des arbres de causes racines. La phase de **définition** revient alors à représenter les différents acteurs et leurs actions au sein de la chaîne d'approvisionnement. La phase de **mesure** vise à clarifier la façon dont l'entreprise performe par le choix d'indicateurs de performances adaptés et par la mise en place de scénarios de fonctionnement sous perturbations. La phase d'**analyse** consiste à mettre en évidence toutes les causes qui conduisent à ces perturbations par la mise en place d'arbres de causes racines à plusieurs niveaux. La phase d'**amélioration** a pour objectif de proposer des opportunités de développement de la chaîne d'approvisionnement dans le but de suivre et contrer les différentes causes analysées dans l'étape précédente. Les auteurs voient trois domaines dans lesquels les chaînes d'approvisionnements doivent s'améliorer. Ils suggèrent d'instrumenter et d'interconnecter les entités logistiques afin de permettre aux chaînes d'approvisionnement d'apprendre et de prendre des décisions par elles même. La méthode DMAIC ajustée par les auteurs se conclut par une phase de **contrôle** dans laquelle l'objectif pour les gestionnaires est de suivre et tutorer les changements effectués au sein de leur processus d'approvisionnement. Cette phase de contrôle consiste majoritairement à la mise en place de nouveaux indicateurs pour juger de la performance des modifications apportées.

Si les auteurs utilisent des noms différents pour décrire les étapes de l'analyse de causes racines, les principes et les actions évoquées sont semblables. La figure 2.4 résume les cinq étapes génériques de l'analyse de cause racine proposée par les auteurs.

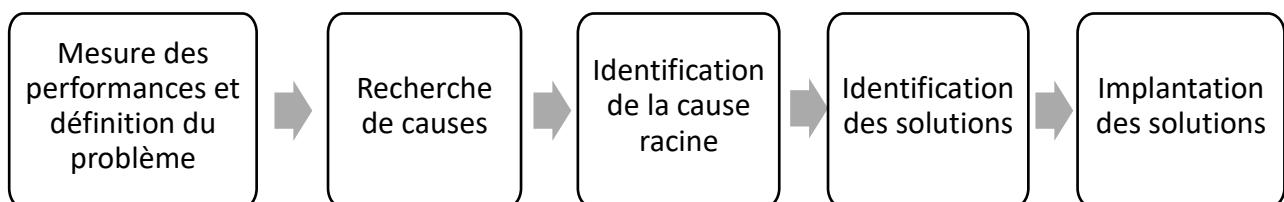


Figure 2.4 Processus générique d'analyse de causes racines pour les chaînes d'approvisionnement
adapté de Eckert et Hughes (2010)

2.2.2.2 Méthodes de mise en évidence des causes racines pour des chaînes d'approvisionnement

Si les auteurs de la littérature s'accordent sur les étapes génériques de l'analyse causale pour les chaînes d'approvisionnement, des enjeux sur la phase de **mesure et définition du problème** ainsi que sur celle de **détection des causes racines** persistent. Dumitrascu et al. (2020) développent un modèle d'évaluation des performances logistiques qui lie très spécifiquement les problèmes rencontrés par les gestionnaires de chaînes d'approvisionnement aux indicateurs de performance à mettre en place pour mieux comprendre ces problèmes. Les auteurs sondent la littérature puis les experts du domaine du secteur automobile pour proposer une interface basée sur un réseau de neurones dans laquelle le gestionnaire vient sélectionner les problèmes qu'il constate pour que l'interface lui renseigne les meilleurs indicateurs pour évaluer la situation au sein de sa chaîne d'approvisionnement. Ils proposent dans leur étude une division de la chaîne d'approvisionnement en neuf entités distinctes. Dans chacune des sous-parties de la chaîne d'approvisionnement, ils mettent en évidence les problèmes récurrents rencontrés par les experts et les cinq indicateurs de performance les plus fréquemment développés par ces derniers pour y répondre.

Janeš et Faganel (2013) constatent qu'il est souvent difficile de déterminer les relations qui existent entre les résultats des indicateurs de performances opératifs et les objectifs stratégiques des entreprises. Pour répondre à cet enjeu, l'approche proposée par les auteurs se base sur des méthodes ECM (*Error Correction Model*) couplées aux méthodes d'Engle et Granger (1987). Le but de la méthode est de calculer les vecteurs de cointégration qui viennent capter les relations intrinsèques entre les indicateurs de performances des entreprises et leurs objectifs stratégiques. Une fois ces relations mises en lumière, des suggestions d'implantation de nouveaux indicateurs de performances sont proposées.

Dans une dynamique similaire, Tufano et al. (2018) proposent un cadre d'analyse des stratégies de management des inventaires au sein d'entrepôts de stockage. Les auteurs suggèrent une liste de caractéristiques sur la donnée nécessaire à l'évaluation des performances logistiques des entrepôts d'un cas d'étude. La méthode proposée permet aux gestionnaires de SKU (*Stock Keeping Unit*) d'améliorer l'allocation de l'espace et de la main-d'œuvre au sein de ces derniers. Les entrepôts de stockage jouent un rôle majeur dans les chaînes d'approvisionnement puisqu'ils servent à alimenter les flux de marchandises à l'intérieur de ces dernières.

Handfield et al. (2013) s'intéressent quant à eux aux tendances et aux stratégies observées au sein des chaînes d'approvisionnement. Ils soulignent que les chaînes d'approvisionnement deviennent de plus en plus complexes pour répondre à des clients toujours plus exigeants en termes de personnalisation et de qualité de service. Ils estiment qu'à l'orée 2018, la tendance la plus importante à suivre dans l'atteinte des objectifs financiers des chaînes d'approvisionnement est celle de la satisfaction des clients. Une liste des indicateurs de performances les plus importants à suivre dans cette dynamique stratégique complexe est alors proposée.

Dans une optique d'identification des causes racines, Baryannis et al. (2018) sondent la littérature pour analyser les opportunités d'utilisation des méthodes d'intelligence artificielle pour le management de chaînes d'approvisionnement. Dans cet article, les auteurs s'attardent sur les méthodes développées par les chercheurs pour implémenter des principes d'intelligence artificielle sur la donnée dans le but d'assister la prise de décision sous incertitude pour les gestionnaires de chaînes d'approvisionnement. Ils distinguent notamment les méthodes de programmation stochastique, d'optimisation robuste et les approches basées sur les agents virtuels.

Les agents virtuels ont été étudiées par Blos et al. (2018) au travers d'un cas d'étude d'une entreprise qui assure des livraisons régulières par avions entre la Chine et le Brésil. Un agent virtuel est un programme qui a pour objectif de simuler les actions et les interactions d'un système réel. Le but est alors de recréer ou prédire des situations complexes et simuler un ensemble de solutions envisagées pour y répondre. Dans cet article, les chercheurs couplent les méthodes de représentation mathématiques et de modélisation d'environnement PN (*Petri Net*) et les méthodes ABM (*Agent-Based Model*) pour modéliser des agents virtuels gouvernés par des règles renseignées à leur création.

Quelques années auparavant, Giannakis et Louis (2011) s'étaient déjà intéressés à la mise en place d'agents virtuels pour supporter la prise de décision dans des environnements sous incertitude. Les auteurs proposent un système à trois agents virtuels : un pour simuler la demande en articles de la production, un autre pour simuler les évènements de la chaîne d'approvisionnement et un dernier module pour gérer les incertitudes dans le processus. Un processus de management des risques alors proposé. Il se base sur les mêmes étapes que celles de l'analyse causale de la figure 2.4. Les auteurs proposent un critère de sélection économique pour identifier la solution la plus adéquate pour répondre aux problèmes rencontrés.

Burnia et al. (2019) proposent une méthode d'analyse de causes racines pour résoudre les problèmes liés à l'implantation d'un ERP au travers un cas d'étude. Dans cet article les auteurs proposent d'intégrer les meilleures pratiques identifiées dans la littérature à leur analyse de causes racines pour mettre en lumière des écarts et des opportunités d'amélioration. Une méthode SMM (*Soft System Methodology*) est utilisée pour séparer les activités de la chaîne d'approvisionnement. Cette séparation des activités vise à segmenter les activités liées à des problèmes dans le monde réel aux activités liées à la façon dont le système performe.

Quelques mois plus tard, Demarne et al. (2020) présentent leur projet RADD, une plateforme qui vise à mesurer et représenter la disponibilité de l'information au travers plusieurs bases de données fragmentées. Les auteurs soulignent leur désir d'utiliser les indicateurs de performances pour mettre en évidence les tendances sur les ruptures du service de cette chaîne d'approvisionnement de données. RADD couple deux algorithmes de valorisation de données. Un premier au nom de RDD (*Regressed Deployment Detection*) dont le but est de mettre en évidence les tendances qui conduisent à des ruptures du service et un programme ADS (*Anomaly Detection System*) qui analyse la donnée et relâche des alertes aux responsables quand un problème est détecté. À chaque fois qu'un problème est rencontré, RADD essaie d'identifier l'information relative au problème pour classer ce dernier.

À dix années d'intervalle, Piovesan et al. (2009) ainsi que Settemsdal (2019) s'intéressent à la mise en place de plateformes pour représenter la disponibilité de leurs actifs pétroliers. Piovesan et al. (2009) proposent un tableau de bord qui relâche des alertes aux gestionnaires quand les performances de ces actifs se dégradent par analyse de données opératives, informe des maintenances préventives à venir, donne des visuels sur l'état des variables propres aux systèmes en service, etc. Settemsdal (2019) fait évoluer ce concept et développe pour Siemens une application appelée SOGO (*Siemens Oil and Gas Offshore*) qui met en évidence les indicateurs de performance des actifs pétroliers de l'entreprise, analyse les écarts par rapport aux courbes de fonctionnement des composants de ces actifs et propose même des représentations éclatées des systèmes pour que le gestionnaire puisse très vite comprendre d'où vient l'alerte.

Sur une idée similaire, Bangari et al. (2019) proposent un cadre d'analyse des chutes de performance observées sur des machines tournantes. Les auteurs cherchent à mettre en évidence les opportunités d'un diagnostic en temps réel par analyse de données opératives pour relâcher des

alertes de maintenance avant qu'une panne n'arrive. L'objectif est de mettre en évidence les changements d'état et les situations alarmantes dans le but de donner du temps aux gestionnaires de conduire une analyse de causes racines préventive avant qu'une panne n'arrive. Cette analyse de performance de machine roulante se fait par suivi des courbes caractéristiques de fonctionnement des machines tournantes.

Pour faire écho aux travaux de Tufano et al. (2018), Nnamdi (2018) propose une stratégie pour gérer les stocks dormants et les stocks morts à travers du cas d'étude d'un constructeur d'ascenseurs. Cette stratégie combine les recommandations issues de la littérature aux méthodes d'analyse de causes racines pour mettre en place une approche de résolutions de problèmes sur des niveaux stratégiques, proactifs et réactifs en gestion de stocks.

Enfin, basé sur les travaux d'Härtel et al. (2019), Schmidt et al. (2019) proposent une méthode d'analyse de causes racines pour les chaînes d'approvisionnement en découplant la chaîne logistique en cinq entités distinctes et en associant des indicateurs de performance à chacun de ces sous-systèmes. Les auteurs explorent de façon systématique les relations de cause à effet menant à de mauvaises performances logistiques pour chacun de ces indicateurs et construisent un métarbre de causes racines qui met en évidence les relations causales entre les différents indicateurs de performance. L'arbre de cause racine final vise à explorer toutes les causes imaginables menant à un problème source et à lier à chacun des noeuds de l'arbre, un indicateur de performance pour valider ou non le besoin d'explorer les différentes ramifications de l'arbre en question.

Le tableau 2.3 récapitule les phases de l'analyse de causes racines dans lesquels les articles de cette revue de littérature viennent apporter de la valeur ajoutée pour notre étude.

Les auteurs de cette revue de littérature soulignent tous le besoin d'incorporer les méthodes d'analyse de données opératives pour conduire les processus de résolution des problèmes dans leur domaine respectif. Différentes stratégies sont développées pour y parvenir. La revue critique de littérature à venir jugera notamment les difficultés et les enjeux relevés par ces auteurs.

Tableau 2.3 Contribution des auteurs au travers des cinq phases de l'analyse causale

Auteurs	Phases				
	Mesure et définition du problème	Recherche de causes	Identification de la cause racine	Identification des solutions	Implantation des solutions
Bangari et al. (2019)	X	X	X	X	
Burnia et al. (2019)	X	X	X	X	
Blos et al. (2018)	X	X	X		
Demarne et al. (2020)	X	X	X		
Dumasticus et al. (2020)	X				
Eckert et al. (2010)	X	X	X	X	X
Janeš et Faganel (2013)	X	X			
Härtel et Nyhuis (2019)	X	X	X		
Giannakis et Louis (2011)	X	X	X	X	
Mezouar et El Afia (2019)	X	X		X	X
Nnamdi (2018)	X	X		X	X
Piovesan et al. (2009)	X	X	X		
Schmidt et al. (2019)	X	X	X	X	
Settemsdal (2019)	X	X	X	X	
Tufano et al. (2018)	X	X		X	

Le tableau 2.4 récapitule l'ensemble des techniques utilisées par les auteurs de la revue de littérature pour les phases de mesure et de définition du problème, pour la phase de recherche de causes et pour l'identification de la cause racine. Pour réaliser la phase de mesure et de définition du problème, les auteurs utilisent dans la grande majorité des cas des indicateurs de performance recommandés dans la littérature pour adresser les non-performances de la chaîne d'approvisionnement.

Pour la phase de recherche de causes trois grandes familles de techniques se concurrencent. La première est l'utilisation du savoir des experts. Par expérience, les auteurs estiment que le savoir des experts de la chaîne d'approvisionnement sont capable d'identifier l'ensemble des causes menant à un problème ou à une non-performance identifiée. La seconde technique est l'utilisation de modèles quantitatifs. Ce sont souvent des modèles mathématiques qui cherchent à déterminer un ensemble de conditions initiales qui conduiraient au problème observé. Ces techniques sont critiquées pour agir comme des boîtes noires et être souvent difficilement interprétables. La dernière famille de techniques est utilisée pour faire de l'analyse de causes racines sur des actifs en fonctionnement. Le suivi de courbes caractéristiques des composants fonctionnant à l'intérieur des actifs en activité est utilisé pour la définition et la mesure du problème ainsi que pour la recherche de causes. Le but est d'identifier les composants qui fonctionnent hors des gammes de fonctionnement sécuritaires identifiées par les constructeurs.

Enfin, pour la phase d'identification de la cause racine, nous identifions aussi trois familles de techniques. La première est l'utilisation du savoir des experts. Par expérience, un expert serait capable d'identifier la cause fondamentalement responsable du problème observé s'il dispose de la liste complète des causes potentiellement responsables de ce dernier. La seconde famille de techniques est l'utilisation de modèles quantitatifs que les chercheurs estiment bien meilleurs pour la phase d'identification de la cause racine que pour la phase de recherche de causes. Enfin, la dernière famille de techniques vise à utiliser des métriques d'identification qui agissent en tant qu'alertes. À chacune des causes potentiellement responsables de l'émergence du problème on lie une métrique d'identification unique. Si la métrique se déclenche, la cause associée est suspectée d'être la cause racine du problème observé.

Tableau 2.4 Techniques utilisées par les auteurs pour répondre aux trois premières phases de l'analyse de causes racines.

Auteurs	Technique de recherche de causes	Technique d'identification de la cause racine	Technique de mesure et définition du problème
Bangari et al. (2019)	Courbes caractéristiques	Identification de la pièce en défaut	Courbes caractéristiques
Blos et al. (2018)	Réseau de Petri	Réseau de Petri	Agent virtuel
Demarne et al. (2020)	Anomaly Detection System ADS	Anomaly Detection System ADS	Regressed Deployment Detection RDD
Dumistrascu et al. (2020)			Réseau de neurones
Eckert et Hughes (2010)	Savoir des experts	Savoir des experts	Savoir des experts
Janeš et Faganel (2013)	ECM + Engle et Granger : Vecteurs de cointégration		Donnée d'entrée
Härtel et Nyhuis (2019)	Arbres de Causes Racines + Savoir des experts	Métriques d'identification	KPIs Recommandés
Giannakis et Louis (2011)	Agent Virtuel	Régression linéaire + Recherche d'optimum	KPIs Recommandés + Agents virtuels
Mezouar et El Afia (2019)	Arbres de Causes Racines + Savoir des experts		KPIs Recommandés + Simulations de génération de scénarios
Nmamdi (2018)	Application des pratiques recommandées		Application des pratiques recommandées
Piovesan et al. (2009)	Courbes caractéristiques	Identification de la pièce en défaut	Courbes Caractéristiques
Schmidt et al. (2019)	Arbres de Causes Racines + Savoir des experts	Métriques d'identification	KPIs Recommandés
Settemsdal (2019)	Courbes caractéristiques	Identification de la pièce en défaut	Courbes Caractéristiques
Tufano et al. (2018)			KPIs Recommandés

2.3 Revue critique

L'état de l'art des travaux de recherche sur le sujet de l'analyse de causes racines pour les chaînes d'approvisionnement montre un intérêt récent de la part de la communauté scientifique pour l'exploitation des méthodes de fouille et de valorisation de données industrielles. Pour Baryannis et al. (2018) le big data et les méthodes d'analyses associées ont fait leurs preuves dans de nombreux domaines de recherche cependant leur application aux chaînes d'approvisionnement manque encore de maturité.

Burnia et al. (2019) reconnaissent que, malgré la plus-value qu'apportent les SSM (Soft Systems Methodology) pour la résolution de problème et la prise de décision, il n'y que trop peu de contributions scientifiques qui s'intéressent à la priorisation des problèmes et à celle des actions à mettre en place. Demarne et al. (2020) s'intéressent à cet aspect dans son étude. Les chercheurs identifient un besoin de lier les SSM à des méthodes de priorisation dans les recherches futures.

L'exploration des causes dans ce corpus d'articles est de deux natures différentes. Nous notons les méthodes d'exploration des causes basées sur les savoirs des experts comme pour Bangari et al. (2019) ou Schmidt et al. (2019) et les méthodes de mises en évidence de causes racines par modèles quantitatifs comme dans les travaux de Giannakis et Louis (2011) ou Blos et al. (2018). La méthode d'analyse par savoir d'experts permet d'avoir une maîtrise de l'exploration de causes dans le sens où un travail d'identification par méthode quantitative peut devenir plus difficile à interpréter. Eckert et Hughes (2010) soulignent que le processus d'analyse de cause racine sera plus efficace si toutes les parties prenantes de la chaîne d'approvisionnement, du fournisseur au client, sont incluses dans le processus de résolution de problème. Responsabiliser les experts, les fournisseurs et les clients donnera de la visibilité et l'importance à l'étude de résolution des problèmes mise en place dans l'entreprise.

Nous remarquons que si la plupart des auteurs assurent faire de l'analyse de causes racines pour la chaîne d'approvisionnement, ils ne s'intéressent pas toujours aux mêmes enjeux ou sous parties de cette dernière. Nous utiliserons la subdivision de Dumastricus et al. (2020) pour analyser les contributions scientifiques de cette revue de littérature dans les différentes sous-parties de la chaîne d'approvisionnement. Nous écartons les contributions qui ne s'inscrivent dans aucune des sous-parties de la chaîne d'approvisionnement de Dumastricus et al. (2020). Le résultat de cette analyse est présenté dans le tableau 2.5.

Tableau 2.5 Contribution des auteurs au travers des sous-systèmes de la chaîne d'approvisionnement

	Gestion de la demande	Gestion des fournisseurs	Gestion des contrats	Développement de produits	Approvisionnement, achats	Gestion des ventes	Gestion des entrepôts	Gestion de la production	Distribution
Härtel et Nyhuis (2019)								x	
Blos et al. (2018)								x	x
Giannakis et Louis (2011)	x				x			x	x
Mezouar et El Afia (2019)								x	x
Nnamdi (2018)							x		
Schmidt et al. (2019)								x	x
Tufano et al. (2018)							x		
Burnia et al. (2019)	x		x					x	x
Demarne et al. (2020)	x	x							x
Dumistrascu et al. (2020)	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Les contributions scientifiques de cette revue de littérature s'intéressent dans la grande majorité des cas aux sous-parties de gestion de la production et de la distribution des biens au sein de la chaîne d'approvisionnement. Presque aucune contribution scientifique n'adresse les enjeux de gestion des fournisseurs, des contrats, du développement de produits ou encore de la gestion des ventes. Des opportunités de développement de méthodes d'analyse de causes racines supportées par la donnée sont mises en évidence dans ces sous-parties.

Seule une partie des contributions scientifiques de cette revue de littérature arrive à s'inscrire dans au moins un des sous-systèmes de Dumistrascu et al. (2020). Nous avons écarté les propositions de type « État de l'art » et les contributions qui ne traitent d'aucun des sous-systèmes identifiés par Dumasticus et al. (2020). Un autre pan de la littérature de ce corpus d'article s'intéresse à l'analyse de causes racines sur la disponibilité et sur la performance d'une flotte d'actifs dans le secteur pétrolier (Piovesan et al. (2009) et Settemdal (2019)). Ces contributions scientifiques ne viennent jamais lier les causes de non-performance de la chaîne d'approvisionnement à la disponibilité de la flotte d'actifs en fonctionnement. Dans ces contributions, l'analyse de causes racines cible les performances des actifs et pas celles de la chaîne d'approvisionnement permettant de réaliser les opérations de maintenance des actifs.

Enfin, Burnia et al. (2019) proposent une approche d'analyse de causes racines pour comprendre quelles sont les meilleures pratiques à appliquer lors de l'implantation d'un système ERP pour répondre aux besoins exprimés par un client désireux d'implanter un tel logiciel. Cette contribution ne s'intègre dans aucun des sous-systèmes de Dumistrascu et al. (2020).

Baryannis et al. (2018) identifient des opportunités d'amélioration dans les méthodes de valorisation de données pour les processus d'affaires au sein des chaînes d'approvisionnement et notamment pour les processus de gestion et d'identification des risques. Pour approfondir cette revue critique de la littérature, nous nous référons aux travaux de Zellner (2011) pour évaluer les méthodes de transformation de processus proposées dans cette revue de littérature. Dans ces travaux, l'auteur identifie cinq éléments indispensables que doit inclure une méthode selon son modèle d'évaluation *MEM (Mandatory Elements of a method)* :

- *Un modèle de procédure* qui consiste en une séquence d'activités à suivre lors de l'implantation et l'exécution de la méthode;
- *Des techniques* qui permettent de générer des résultats et supporter les activités;
- *Des résultats* qui représentent la valeur ajoutée créée par les activités;
- *Des rôles* qui permettent d'identifier les responsables au sein des différentes activités; et
- *Un modèle d'information* dont le but est de représenter les éléments ci-dessus et leurs relations ainsi que les résultats de la méthode.

Par la suite, nous classifions les articles de cette revue de littérature en fonction du modèle d'évaluation de Zellner (2010) pour mettre en lumière leur portée et leurs limitations. Nous écartons les contributions de type « État de l'art », car elles ne proposent pas de méthodes. Le résultat de cette analyse est présenté dans le tableau 2.6.

Tableau 2.6 Classification des modèles proposés dans la littérature

Auteurs	Éléments fondamentaux à l'élaboration d'une méthode				
	Modèle de procédure	Techniques	Résultats	Rôles et responsabilités	Modèle d'information
Bangari et al. (2019)	X	X	X		
Burnia et al. (2019)	X	X	X		
Demarne et al. (2020)	X	X	X		
Dumistrascu et al. (2020)	X	X	X	X	
Eckert et Hughes (2010)	X	X	X	X	
Janeš et Faganel (2013)	X	X	X		
Härtel et Nyhuis (2019)	X	X			
Blos et al. (2018)	X	X	X		
Giannakis et Louis (2011)	X	X	X	X	
Mezouar et El Afia (2019)	X	X	X		
Nmamdi (2018)	X	X			
Piovesan et al. (2009)		X	X		
Schmidt et al. (2019)	X	X	X		
Settemsdal (2019)		X	X		
Tufano et al. (2018)	X	X			

Le modèle de procédure est présent chez treize des quinze contributions scientifiques du corpus d'articles de cette revue de littérature. Le modèle de procédure est le corps structurel de la présentation et du développement d'une méthode. Rien n'est étonnant de le voir présenté dans la

grande majorité des contributions scientifiques. Cependant, ce modèle de procédure est parfois très succinct et consiste en une structure de présentation au sein de la contribution comme pour Nnamdi (2018) ou encore Giannakis et Louis (2011). Certaines contributions présentent au contraire un modèle de procédure détaillé et complet comme pour Dumistrascu et al. (2020) ou Mezouar et El Afia (2019) et leur modèle de procédure DMAIC. Parmi les articles présentant des méthodes d'analyse de cause racine, deux ne présentent aucun modèle de procédure et présentent simplement un ensemble de techniques pour permettre de suivre la disponibilité et les performances opératives d'une flotte d'actifs dans le secteur pétrolier (Piovesan et al. (2009) et Settemsdal (2019)).

Au contraire, les techniques utilisées dans la mise en place des méthodes proposées dans la revue de littérature sont toujours présentées. Hormis de rares exceptions, ces techniques sont justifiées par la présentation de résultats. Une technique étant une façon de générer un résultat au sein d'une activité, il paraît légitime de présenter un résultat pour chaque technique. Härtel et Nyhuis (2019) ou Tufano et al. (2018) proposent d'utiliser des techniques sans justifier de résultat pour prouver la pertinence de leur utilisation. Il est alors difficile d'estimer l'efficacité des techniques proposées. Ces travaux restent toutefois très intéressants en laissant des opportunités d'amélioration futures.

Les rôles et les responsabilités au sein des méthodes proposées sont présentés trois fois au sein des quinze contributions de la revue de littérature. Chez Dumistrascu et al. (2020), Eckert et Hughes (2010) et Giannakis et Louis (2011) des rôles et responsabilités sont associés à certaines activités de la méthode proposée, mais ne couvrent jamais rigoureusement l'ensemble des activités présentées.

Enfin, le modèle d'information, dont le rôle est de présenter les résultats et les intercorrélations entre les différents éléments de la méthode, n'est présenté dans aucune contribution de la revue de littérature. Seuls trois candidats dans cette revue de littérature auraient pu être en mesure de présenter cet ultime élément obligatoire au développement d'une méthode selon Zellner (2011), car ils présentent déjà l'ensemble des éléments à lier au sein du modèle d'information. Ces candidats sont à nouveau Dumistrascu et al. (2020), Eckert et Hughes (2010) et Giannakis et Louis (2011).

Malgré l'intérêt grandissant des auteurs pour la valorisation de données pour supporter les opérations des chaînes d'approvisionnement, aucune méthode ne répond aux critères d'évaluation de Zellner (2011), car aucune contribution scientifique ne comprend les cinq éléments obligatoires

à l'établissement d'une méthode. Toutefois, les méthodes proposées par les chercheurs peuvent être améliorées et standardisées au travers des sous-systèmes de la chaîne d'approvisionnement proposés par Dumistrascu et al. (2020).

2.4 Conclusion

Cette revue de littérature nous a permis de constater que l'analyse de causes racines supportée par la donnée pour les chaînes d'approvisionnement soulève de multiples problématiques, elles-mêmes analysées par de nombreux chercheurs. À l'aide des travaux proposés dans la littérature, nous avons analysé des opportunités de recherche pour combler le savoir dans ce domaine. Il n'existe pas ou très peu de contributions scientifiques qui cherchent à adresser la priorisation des problèmes au sein de la chaîne logistique ni de contributions scientifiques qui cherchent à adresser les enjeux de l'analyse de causes racines des chaînes d'approvisionnement sur la disponibilité des actifs pour un cas d'étude. Certains sous-systèmes de la chaîne d'approvisionnement n'ont d'ailleurs pas reçu assez d'attention sur l'analyse de causes racines pour supporter la prise de décisions. Enfin, aucune méthode ne répond aux critères d'évaluation d'une méthode MEM de Zellener (2011). Nous allons donc tenter de pallier ces manquements en proposant une méthode d'analyse de causes racines supportée par la donnée et priorisée pour les sous-systèmes de distribution, de gestion de la demande et des fournisseurs au sein d'une chaîne d'approvisionnement. La méthodologie de recherche utilisée pour répondre à ces besoins est décrite au prochain chapitre.

CHAPITRE 3 MÉTHODOLOGIE DE RECHERCHE

3.1 Introduction

Ce chapitre présente la méthodologie de recherche utilisée pour cette étude. La problématique y est présentée en premier lieu dans le but de mettre en lumière les objectifs de recherche spécifiques ainsi que les hypothèses fondamentales de l'étude. Puis, l'approche méthodologique utilisée est décrite.

3.2 Objectifs de recherche

L'observation générale faite sur les chaînes d'approvisionnement montre que la situation logistique des entreprises se complexifie. Les chaînes d'approvisionnement doivent répondre à des demandes de clients toujours plus variées dans des délais de plus en plus courts (Handfield et al., 2013). La compétition entre les chaînes d'approvisionnement au sein des entreprises vient progressivement remplacer la compétition entre les entreprises elles-mêmes (Schmidt et al., 2019). Par conséquent, la résolution de problèmes au sein des chaînes d'approvisionnement devient un enjeu de taille pour opérer et évoluer efficacement sous ces contraintes. Les entreprises ne disposent pas de méthodes de résolution de problèmes systématiques et supportées par la donnée puisqu'aucune méthode actuelle de la littérature ne permet de répondre à cette problématique au travers des cinq phases de l'analyse de causes racines, avec un support adapté.

Par ailleurs, il devient impératif pour les chaînes d'approvisionnement de développer des indicateurs de suivi des performances au niveau des opérations pour obtenir des avantages compétitifs (Dumistrascu et al., 2020). Nombreuses sont les entreprises qui peinent à atteindre leurs objectifs stratégiques par manque de compréhension des interactions des entités logistiques intervenant dans la chaîne d'approvisionnement (Härtel et Nyhuis, 2019). La mise en place d'indicateurs de performance permet d'identifier des entités problématiques au sein du processus d'approvisionnement avant d'entreprendre la phase de résolution de problèmes (Schmidt et al., 2019). L'identification des entités problématiques n'est pourtant qu'une phase préliminaire du processus d'analyse de causes racines. Elle se poursuit par quatre autres phases d'analyse et de résolution du problème rencontré (Eckert et Hughes, 2010). En raison des enjeux inhérents à l'analyse et la résolution de problèmes au sein des chaînes d'approvisionnement, l'utilisation de

systèmes d'information et de systèmes d'aide à la décision modernes devient indispensable pour les gestionnaires de chaînes d'approvisionnement (Giannakis et Louis, 2011). Dans l'ère de l'industrie 4.0, ces systèmes modernes visent à instrumentaliser la chaîne d'approvisionnement pour recueillir de l'information sur les processus. Cette information peut et doit être valorisée à l'aide d'outils d'analyse de données adéquats. Ces outils peuvent prendre différentes formes et faire intervenir des techniques comme de la programmation stochastique, de l'optimisation robuste, des approches de logiques réseaux, des agents virtuels, etc. (Baryannis et al., 2018).

Par conséquent, *l'objectif général de ce projet de recherche consiste à développer une méthode structurée, basée sur les méthodes d'analyse de causes racines et de valorisation de données tirées de la littérature, permettant d'identifier et de prioriser les différentes activités de résolution de problèmes au sein de chaînes d'approvisionnement.* De cet objectif général, quatre objectifs spécifiques ont été déterminés, soit :

1. Identifier les modèles existants dans le but de guider le développement d'une nouvelle méthode basée sur les faiblesses et les forces de chacun de ces modèles;
2. Déterminer les besoins et les contraintes d'un gestionnaire de chaîne d'approvisionnement en environnement réel, permettant de cibler les informations requises à l'initialisation du processus d'analyse de causes racines, intrants de la méthode proposée;
3. Proposer une méthode d'analyse de causes racines reprenant les cinq éléments obligatoires à l'élaboration d'une méthode selon Zellner (2011); et
4. Valider la pertinence et la qualité de la méthode développée en l'appliquant à un cas d'étude en contexte réel.

Les objectifs fixés reposent sur les critères suivants, permettant de délimiter la portée de l'étude :

1. L'analyse de causes racines ne se focalisera que sur les sous-systèmes de distribution, de gestion de la demande et des fournisseurs au sein d'une chaîne d'approvisionnement tels que décrits dans les travaux de Dumistrascu et al., (2020);
2. La méthode proposée n'est exécutable que si l'entreprise dispose d'un système d'information type ERP ou un logiciel comptable permettant de suivre les activités de la chaîne d'approvisionnement; et

3. Le cas d'étude permettant de valider la faisabilité de la méthode performe ses activités d'approvisionnement au sein d'une chaîne d'approvisionnement multi-échelon. Toutes les conclusions sur la pertinence de la méthode seront analysées à travers ce prisme.

La revue de littérature justifie la mise en place de ces critères puisque la grande majorité des méthodes d'analyse de causes racines proposées n'adressent pas les trois sous-parties de la chaîne d'approvisionnement simultanément ni les cinq phases de l'analyse de causes racines décrites dans la partie de revue de littérature de ce mémoire.

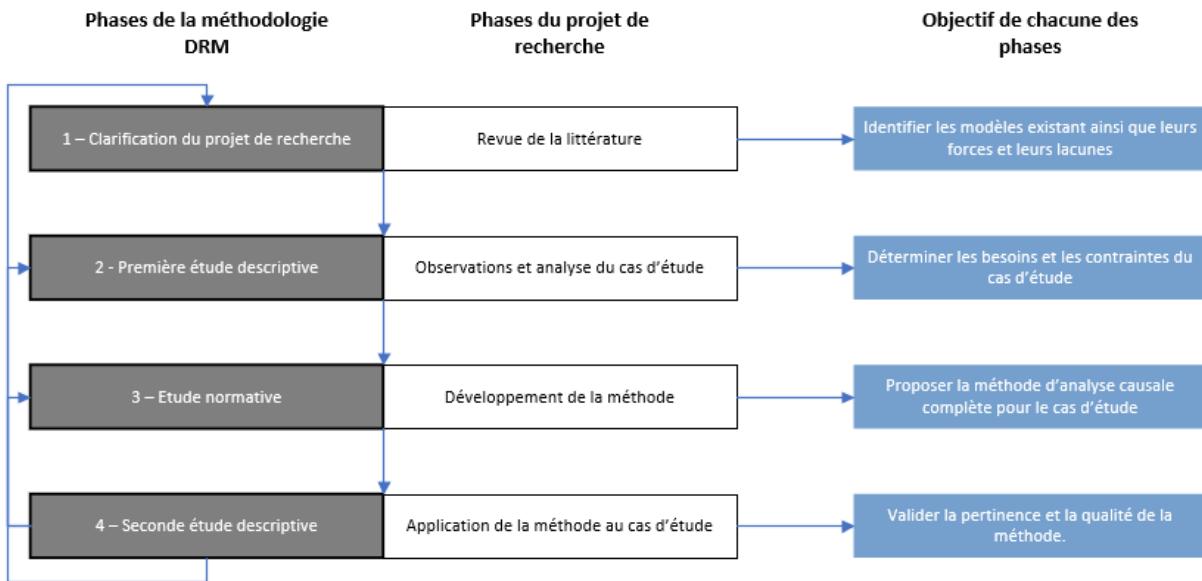
3.3 Méthodologie de recherche

Ce projet de maîtrise vient lier les méthodes d'analyse de causes racines aux techniques de fouille et de valorisation de données par le biais d'une méthode d'analyse du processus d'approvisionnement unifiée. À la vue de l'essence du projet de recherche, une étude empirique utilisant les approches de recherche qualitative semble adaptée. La contrainte de temps du projet de maîtrise ainsi que la durée nécessaire à l'analyse de l'impact de la méthode proposée sur les performances de la chaîne d'approvisionnement nous poussent à écarter les méthodologies de recherche expérimentale telles que la recherche-action et la recherche-intervention (Cappelletti, 2010). Les méthodologies par étude de cas pour conduire ce projet de recherche ont aussi été écartées puisqu'elles ne sont adaptées que pour l'analyse de processus existants dont l'étude doit être approfondie pour proposer des voies d'amélioration (Yin, 2009). La revue de littérature du chapitre 2 de ce mémoire vient appuyer ce point par la mise en évidence du manque de solution pour conduire des analyses de causes racines supportées par la donnée.

Par conséquent, nous décidons d'utiliser une méthodologie mixte, c'est-à-dire expérimentale et empirique, au nom de DRM (*Design Research Methodology*) présentée dans les travaux de Blessing et Chakrabarti (2009). Cette dernière ne nécessite pas une implantation complète de la solution pour évaluer la validité et la pertinence des résultats contrairement aux méthodologies recherche-action et recherche-intervention précédemment énoncées. Cette méthodologie de recherche scientifique nous permettra de formuler et de valider la méthode présentée dans ce mémoire pour répondre aux besoins de l'étude par le biais d'une structure présentant rigoureusement la démarche scientifique suivie. Celle-ci se décompose en quatre phases : une clarification du sujet, une étude préliminaire descriptive, une étude normative, puis une seconde

étude descriptive du cas d'étude. Le suivi de ces étapes est en boucles itératives et non pas séquentiel (Blessing et Chakrabarti, 2009). Ces quatre phases seront présentées et reliées aux étapes de notre recherche pour ce projet dans la figure 3.1. Cette figure montre les quatre phases de la méthodologie DRM en lien avec les phases du projet actuel et les objectifs de chacune des phases.

Figure 3.1 Phases de la méthodologie DRM liées aux phases du projet de recherche



3.3.1 Revue de la littérature

Une première revue de littérature sur les méthodes d'analyse de causes racines pour les chaînes d'approvisionnement nous a permis de valider le besoin et la pertinence de notre projet de recherche, ainsi que les contributions scientifiques pertinentes pour l'atteinte de nos objectifs.

La revue critique de la littérature basée sur les travaux de Zellner (2011) nous a permis d'identifier cinq éléments obligatoires à la production d'une méthode à savoir : le modèle de procédure, les techniques employées, les intrants et les extrants de chacune des activités, les rôles et les responsabilités des acteurs au sein de la méthode ainsi qu'un modèle d'information venant représenter les résultats obtenus.

3.3.2 Observation et analyse du cas d'étude

La première étude descriptive a pour but de préciser les attentes et les besoins du partenaire pour améliorer la compréhension globale du projet pour chacun des acteurs de ce dernier. Cette étude

préliminaire vise à définir la faisabilité du projet ainsi que la portée de ce dernier par analyse des contraintes du partenaire. À la fin de cette première étude descriptive, le but est d'identifier les intrants et les informations requises à l'initialisation du processus d'analyse de causes racines dans le but de répondre à l'objectif n°2 de ce projet d'étude.

3.3.2.1 Présentation du cas d'étude

Lors de la première étude descriptive, nous analyserons les besoins et les contraintes d'une organisation désireuse de valoriser la donnée maintenue dans son système de gestion d'entreprise pour supporter ses opérations de gestion de matériels et ses opérations d'approvisionnement à l'interne¹. Cette organisation est la STM, la Société de Transport de Montréal, localisée à Montréal (Québec, Canada). L'entreprise gère une flotte d'actifs roulants pour assurer les services de transport en commun dans la ville de Montréal. D'une façon plus précise, la STM a contacté l'institut de valorisation de données Ivado qui regroupe un ensemble de chercheurs dont le but est de réaliser des opérations d'analyses de données en environnement réel pour changer des découvertes scientifiques en applications concrètes.

La STM constate, depuis plusieurs mois, qu'une partie trop importante de sa flotte est immobilisée pour des problèmes de disponibilité de pièces de rechange dans ses centres de réparations. Ces actifs immobilisés poussent l'entreprise à augmenter certains de ses niveaux de stock en pièces de rechange pour continuer à assurer la qualité de ses services de transport dans la ville de Montréal. Les responsables de la planification intégrée de l'entretien et de la gestion des stocks au sein de cette entreprise basent leurs espoirs sur la valorisation de la donnée opérative maintenue dans son système intégré de gestion d'entreprise pour résoudre les principaux enjeux reliés à la disponibilité du matériel à l'interne.

3.3.2.2 Collecte d'information sur le terrain

Aucune méthode d'analyse de causes racines pour résoudre ces enjeux n'est implantée dans l'organisation partenaire. Dans le but d'en créer une, et compte tenu de la définition d'une méthode

¹ Le processus d'approvisionnement de la STM inclut différentes fonctions d'affaire comme l'approvisionnement à l'externe, la gestion des flux de matériels, les opérations de maintenance, de planification, etc. Le terme approvisionnement décrira ici les opérations de distribution au sein de la chaîne d'approvisionnement de l'organisation.

présentée plus tôt, nous devons identifier l'ensemble des activités, des flux de matière et d'information ainsi que les ressources humaines en présence au sein de la chaîne d'approvisionnement du cas d'étude. Les observations et les analyses obtenues lors de ce diagnostic permettront alors de replacer la réalité industrielle dans le corpus d'article de la revue de littérature préalablement effectuée. De ce fait, nous pouvons déterminer les besoins et les contraintes pertinents dans le développement de la méthode dans le but d'offrir un support cohérent aux entreprises.

La collecte d'information s'est effectuée par exploration de la base de données maintenue dans le système d'information de l'entreprise et par interview des responsables de la chaîne d'approvisionnement du partenaire. Cette collecte de donnée a été effectuée entre novembre 2020 et février 2021. La méthode proposée devra permettre aux quinze planificateurs et analystes de réaliser leurs activités de résolution de problème au sein de la chaîne d'approvisionnement du partenaire.

3.3.3 Développement et évaluation de la méthode

La phase de développement de la méthode sera réalisée au travers d'une étude normative. Nous prenons en considération les résultats de la première analyse descriptive du cas d'étude pour évaluer à nouveau les méthodes critiquées dans la revue de littérature. Ainsi nous identifions les travaux de Schmidt et al. (2019) que nous déciderons d'enrichir au travers des cinq phases de l'analyse de causes racines présentée par Eckert et Hughes (2011) pour proposer une nouvelle méthode d'analyse de causes racines appliquée aux sous-systèmes de distribution, de gestion des fournisseurs et de la demande client au sein de la chaîne d'approvisionnement du cas d'étude. Enfin, la méthode développée répondra aux critères d'évaluation MEM de Zellner (2011) afin de s'assurer que tous les éléments d'une méthode soient bien présentés dans notre proposition.

3.3.4 Analyse des résultats

Dans un but de démontrer la faisabilité et la performance de la méthode proposée, nous appliquerons la théorie au cas de la STM. Lors de cette seconde étude descriptive, nous analyserons les forces et les faiblesses de la méthode développée par quantification des résultats de l'analyse de causes racines. Cette analyse des résultats nous permettra de proposer des améliorations et d'identifier des pistes de recherches futures pour compléter l'étude conduite. Il faut toutefois noter

que la durée du projet de maîtrise ne permettra pas de voir l'effet sur le long terme de la méthode d'analyse de causes racines proposée.

3.4 Conclusion

Nous appliquerons la méthodologie de recherche DRM de Blessing et Chakrabarti (2009) pour conduire cette étude. L'essence du projet de recherche prouve la pertinence du choix de méthodologie choisie. Cette méthodologie de recherche nous permettra de guider et d'évaluer l'étude au travers d'un cas concret. À partir de la revue de littérature et de la collecte d'informations sur le terrain, nous conceptualisons une nouvelle méthode d'analyse de causes racines pour les sous-systèmes de distribution, de gestion des fournisseurs et de la demande au sein de chaînes d'approvisionnement se basant sur les forces et les faiblesses des méthodes proposées par les chercheurs. Nous présenterons au prochain chapitre la première étude descriptive du cas d'étude afin d'améliorer la compréhension du contexte, des besoins et des contraintes des entreprises.

CHAPITRE 4 ÉTUDE DESCRIPTIVE

4.1 Introduction

La revue de littérature ayant été conduite, nous pouvons débuter la première étude descriptive. Elle constitue la seconde étape de la méthodologie de recherche DRM exposée au chapitre précédent. Une mise en contexte de la STM est d'abord proposée, suivie d'une description du cas d'étude. Les contraintes et les besoins du partenaire seront identifiés lors de la phase de diagnostic et d'observation de ce chapitre.

4.2 Mise en contexte

L'industrie canadienne du transport en commun et transport terrestre de voyageurs pèse près de quatorze milliards de dollars en 2018 pour des dépenses d'exploitation totales de quinze milliards de dollars sur la même année (Statistiques Canada, le Quotidien, 2020). Les entreprises de transport en commun au Canada, qui représentent plus de soixante-dix pour cent des recettes d'exploitation de l'industrie, ont déclaré une hausse de leurs recettes d'exploitation ces dernières années. Ces entreprises sont toutefois subventionnées à hauteur de dix milliards de dollars à l'année. La pérennité de ces dernières repose sur ces subventions d'état pour continuer à assurer les services de transport en commun dans les villes dans lesquelles elles sont implantées.

Si l'industrie du transport en commun enregistre des hausses des recettes d'exploitation à l'horizon 2018, elle a en revanche aussi constaté une diminution de l'offre de ses services. Cette situation a évidemment rendu l'accès aux régions éloignées plus difficile. L'industrie fonctionne à perte, de manière globale, depuis plusieurs années. Il devient important de réaliser que le modèle d'affaires traditionnel du secteur interurbain, qui consiste à offrir des services réguliers à haute fréquence avec peu de passagers n'est pas viable dans les grandes régions avec une densité de population basse.

En 2019, de nombreux projets d'infrastructure étaient en chantier dans le but d'accroître la capacité du service de transport pour répondre à une hausse prévue de l'achalandage dans les transports en commun. Cependant, les répercussions de la COVID-19 sur l'industrie risquent, sur les prochaines années, d'être économiquement dommageables pour ces nouveaux projets. Les mesures de

confinement ont réduit l'achalandage et les recettes des entreprises (Statistiques Canada, le Quotidien, 2020).

En 2016, 315 organisations gouvernementales étaient propriétaires d'actifs de transport en commun au Canada. Ces organisations affichaient alors une flotte de 18 000 autobus, 3500 trains, 250 tramways et 12 traversiers. La plupart des wagons et des autobus appartenaient à l'Ontario ou au Québec. Très récemment, un centre canadien de données sur les transports a émergé. Le centre fournit des liens vers des données sur les transports ou des informations sur le fonctionnement des systèmes de transport pour soutenir les initiatives de prise de décision fondées sur la donnée en rendant les informations stratégiques sur les transports plus transparents (Gouvernement du Canada, Transportation in Canada 2019, 2019). Ce désir de rendre accessible la donnée pour la valoriser et en tirer de la plus-value est aussi un désir que nous retrouvons chez notre partenaire industriel pour cette étude. La prochaine partie de ce chapitre s'intéresse à la présentation de notre cas d'étude.

4.3 Description du cas d'étude

La STM s'inscrit dans le contexte industriel présenté plus tôt. C'est une entreprise de transport en commun du grand Est Canadien qui comptabilise l'engagement de dix mille employés qui a permis d'assurer 365 millions de déplacements en 2018. Sa flotte d'actifs comprend 1800 autobus répartis sur 225 lignes couvrant un réseau de 500 km² ainsi qu'une flotte de métros couvrant 4 lignes desservant 68 stations sur 71 km de tunnels souterrains (STM, 2020).

La gestion de ces actifs est une activité primordiale de l'entreprise. Elle comprend les activités d'attributions des autobus à des parcours, des activités de maintenance ou encore de gestion de la disponibilité du matériel roulant pour assurer les services de transport en commun de la ville. Un actif roulant en fonctionnement a besoin de révisions fréquentes conduisant régulièrement à des opérations de maintenance. Chacune de ces maintenances va immobiliser un actif sur une période donnée. Si trop d'actifs sont simultanément immobilisés, certaines lignes de transport sur le réseau pourraient ne pas être desservies. La dégradation du service de transport offert par la STM dans la ville de Montréal conduirait inévitablement à une baisse des adhérents payant pour ces services. Pour répondre à ces enjeux, la STM désire se doter d'outils d'aide à la décision qui lui permettront

d'éviter d'agrandir sa flotte d'actifs, d'augmenter la valeur des stocks en pièces de rechange ainsi que de réaliser ses opérations de maintenance d'une façon la plus efficace et efficiente possible.

La gestion des inventaires joue un rôle primordial dans la pérennité des entreprises. Le défi d'une bonne gestion des stocks est de réussir à atteindre simultanément les objectifs économiques et les objectifs de disponibilité des pièces de ses inventaires (Vaez-Alaei, 2018). D'un côté, la surestimation grossière des stocks pour s'assurer de répondre à toutes les demandes représente des coûts colossaux. De l'autre, un manque de pièces mènera à une baisse du taux de disponibilité des véhicules en attente dans des ateliers de réparation.

La STM a conscience de ces enjeux. Le réseau logistique permettant l'approvisionnement des pièces de rechange au sein des centres de réparation est sur deux niveaux hiérarchiques. Plusieurs entrepôts centraux viennent alimenter des magasins au plus près des centres de réparations. Ce type de structure logistique porte le nom de chaîne d'approvisionnement multi-échelon. Ces entrepôts centraux sont eux-mêmes approvisionnés par des usines de fabrication et de réparation de pièces au sein de l'entreprise ou alors par des fournisseurs à l'externe.

Aujourd'hui, l'entreprise partenaire désire poursuivre ses efforts afin de continuellement réduire ses coûts d'entreposage. L'enjeu pour l'entreprise est d'avoir les bonnes pièces de rechange dans les bons centres de réparation au bon moment pour assurer un temps d'immobilisation le plus court possible à chaque opération de maintenance. Cependant, des problèmes dans la gestion de flux des pièces de rechange sont encore constatés. Au début du projet de recherche, des indicateurs de performance stratégiques dans les centres de réparation assuraient qu'un taux de service des pièces de rechange estimé à 50% permettait de mettre en service environ 70% du matériel roulant en continu. Tous les acteurs du système de l'entretien (ingénierie, planification, approvisionnement, opération) réalisent de véritables prouesses au quotidien afin d'assurer la qualité du service de l'entreprise dans la ville. Cependant, cette situation n'est pas envisageable à long terme.

La STM a incorporé un module MM (*Material Management*) de gestion du matériel au progiciel de gestion d'entreprise (ERP) pour guider ses activités en 2019. Ce module vient remplacer une solution non intégrée à l'ERP nommée Gesmat. L'ERP enregistre des données sur les flux de pièces de rechange, sur les occurrences de pannes ou sur les opérations d'entretien sur ses véhicules depuis plus d'un an et demi maintenant. Ces informations représentent une mine d'or pour l'atteinte des

objectifs d'amélioration du taux de service des pièces de rechange dans ses entrepôts ou d'amélioration de ses modèles de prises de décision.

Par conséquent, nous pouvons conclure sur le besoin d'une aide supportée par la donnée et d'une solution intégrée dans le but de réaliser cette transition dans les pratiques de gestion de la chaîne d'approvisionnement et de résolution de problèmes au sein de cette dernière. Cette étude descriptive prend forme pour donner suite à cette demande de l'entreprise partenaire.

4.4 Diagnostic et observations

Nous utiliserons la STM pour mieux comprendre les besoins et les contraintes des entreprises qui gèrent des actifs roulant en analysant les processus d'affaire du partenaire et en proposant des solutions technologiques supportées par la donnée pour répondre aux enjeux identifiés. Ce projet a été effectué, avec l'aide de partenaires promouvant la valorisation de la donnée dans des cas d'étude réels, entre septembre 2020 et mai 2021.

4.4.1 Description de la chaîne d'approvisionnement

La STM réalise ses opérations d'approvisionnement au sein d'une chaîne d'approvisionnement sur plusieurs niveaux. Cette chaîne logistique permet au partenaire d'utiliser des entrepôts centraux pour stocker des pièces de rechange et de la matière première pour ses usines. Le catalogue du partenaire industriel comprend environ 250 000 articles. Les entrepôts centraux réapprovisionnent des magasins placés au niveau des centres de réparation. Les magasins stockent en priorité les articles les plus fréquemment demandés pour des opérations de maintenance pour des soucis d'espaces et de coûts d'entreposage. Une fois que les stocks en pièces de rechange au sein de ces magasins s'épuisent, des demandes de réapprovisionnement sont lancées aux entrepôts centraux. Pour les articles non stockés dans les magasins et moins souvent requis pour les opérations de maintenance, la demande d'approvisionnement est envoyée à chaque expression d'un besoin vers l'entrepôt central qui s'occupe de stocker la pièce en question. Les entrepôts centraux, quant à eux, regarnissent leur stock en relâchant des ordres de fabrications aux usines de l'entreprise ou en signant des ententes avec des fournisseurs à l'externe.

Plusieurs politiques de stockage sont en vigueur dans l'entreprise. Les articles les plus demandés sont paramétrés en points de commandes. Lorsque la valeur du stock passe en dessous de la valeur

du point de commande, une demande de réapprovisionnement est envoyée au niveau des entrepôts centraux. En fonction des délais d'approvisionnement annoncés par l'entité cédante pour réapprovisionner l'article et de la demande historique des centres de réparation, les gestionnaires de la chaîne d'approvisionnement calculent une valeur de point de commande adaptée. Pour des raisons économiques, les articles moins fréquemment demandés dans les magasins adoptent une stratégie de stockage dite « sur demande ». À chaque besoin de ces articles, une demande d'approvisionnement est relâchée à l'entrepôt central. Ces articles sont rendus disponibles moins rapidement que les articles en points de commande. Enfin, certains articles suivent des politiques de gestion en Kanbans ou en libre-service dans lesquelles la valeur du stock des articles dans les bines des réparateurs n'est jamais connue par le système. Chaque demande de réapprovisionnement des articles en Kanban ou en libre-service est gérée par le réparateur lui-même.

Dans cette chaîne logistique, le client est régulièrement représenté par le réparateur au sein des centres de réparations et par les opérations de manière plus générale. Après un diagnostic des actifs en maintenance, une gamme d'articles est réservée pour réaliser l'opération de maintenance. Si l'article demandé appelle un stock inexistant ou nul pour le système de gestion de l'entreprise alors une rupture est enregistrée dans le système d'information. Les activités du processus d'approvisionnement sont simplifiées et résumées dans la figure 4.1 ci-dessous.

L'entreprise partenaire structure ses activités par divisions. Les activités liées aux autobus sont enregistrées au sein d'une division différente de celles liées aux opérations sur les métros par exemple. Pour exprimer les difficultés de la gestion de l'approvisionnement au sein de l'entreprise, il faut souligner que dans le catalogue de 250 000 articles, chacun des articles peut décliner ses paramètres d'approvisionnement au travers des différents magasins et des différentes divisions. Dans le but de proposer une méthode d'analyse de causes racines pour supporter les opérations d'approvisionnement et de résolution de problème au sein de l'entreprise partenaire, nous devons

identifier l'ensemble des activités, des flux d'information et de matière, ainsi que les ressources humaines et matérielles intervenant au sein du processus d'approvisionnement.

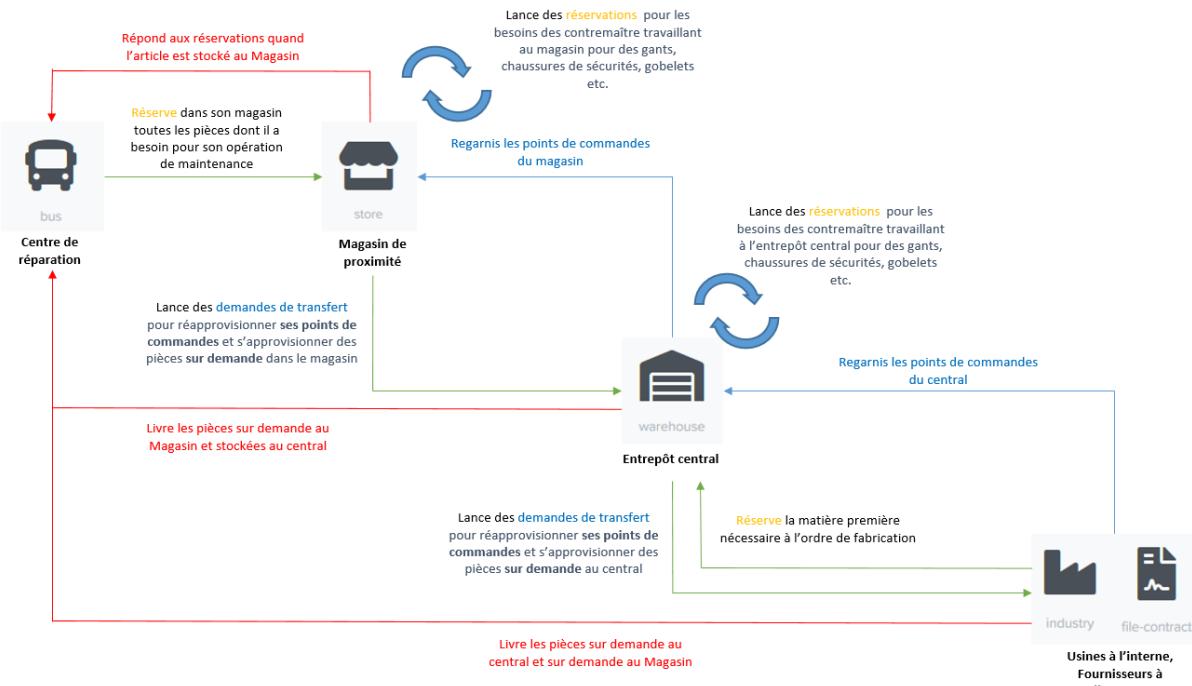


Figure 4.1 Représentation simplifiée du processus d'approvisionnement de la STM.

L'entreprise partenaire maîtrise ces informations puisqu'à l'implantation du module MM en 2019 une cartographie des processus a été réalisée. Le processus d'approvisionnement et les processus de gestion de la demande et des fournisseurs sont rigoureusement établis chez le partenaire. Les rôles, responsabilités, intrants et extrants de chacun des processus sont correctement définis au sein de l'entreprise. Pour des soucis de confidentialité, ces processus complexes ne seront pas détaillés dans ce mémoire.

4.4.2 Collecte d'information sur le terrain

Le partenaire industriel a implanté au cours de l'année 2019 un module de gestion des flux de matériels à son système de gestion d'entreprise de type ERP pour suivre ses opérations logistiques dans une chaîne logistique complexe. Ce système d'information enregistre l'ensemble des besoins au niveau des centres de réparations pour mettre à jour la valeur des stocks au sein des différents entrepôts. Ce dernier permettra d'effectuer la collecte d'information pour ce projet de recherche.

Ce système d'information est structuré en rapports et en tables qui renferment chacune un ensemble d'informations bien particulières. Avec l'aide des gestionnaires de la chaîne d'approvisionnement, nous aurons accès à l'information pertinente pour la mise en place et l'évaluation de la méthode proposée dans ce projet de recherche.

4.5 Analyse

L'intégration d'une méthode d'analyse de causes racines pour supporter les opérations de résolution de problèmes au sein du processus d'approvisionnement est très attendue par le partenaire industriel. Puisqu'aucune méthode pour supporter les opérations d'approvisionnement incluant les cinq indispensables présentés par Zellner (2011) n'est proposée dans la littérature, nous développerons la nôtre.

Le diagnostic et les observations du cas d'étude nous ont permis de cibler de nouveaux enjeux pour la méthode à développer. Pour régler ses problèmes d'approvisionnement, l'entreprise partenaire dispose de quinze analystes. À la vue de la taille du catalogue d'articles et des déclinaisons possibles des paramètres de ces articles au travers des centres de distribution, nous mettons en avant le besoin d'élaborer une stratégie de priorisation et de responsabilité des actions à mener au sein du processus d'analyse de causes racines de ce projet de recherche. La priorisation nous permettra de prendre action sur les principes 80-20 de Pareto en mettant en avant les entités les plus régulièrement problématiques de la chaîne d'approvisionnement. En associant aux quinze analystes des responsabilités rigoureusement cloisonnées, nous pourrons empêcher que deux analyses similaires soient conduites sur une même entité logistique.

4.6 Conclusion

Cette étude nous a permis de mieux comprendre les enjeux et les contraintes des entreprises qui initient une transformation de leur processus d'approvisionnement en voulant incorporer des méthodes de valorisation de données. Lors de cette première étude descriptive, nous avons mis en avant de nouveaux besoins à incorporer dans la méthode proposée. Ces besoins comprennent la priorisation des analyses à conduire et la segmentation des responsabilités des acteurs de la résolution de problème au sein de la chaîne d'approvisionnement. Ainsi, les besoins et les contraintes des entreprises qui gèrent du matériel roulant au sein de chaînes d'approvisionnement multi-échelon ont été déterminés, ce qui constitue le second objectif de ce projet de recherche. La

mise en place d'une méthode d'analyse de causes racines supportée par la donnée semble être le bon moyen d'intégrer ces besoins et ces contraintes à un outil supportant la prise de décision pour le processus de résolution de problème au sein de la chaîne d'approvisionnement. Par conséquent, le prochain chapitre présente la méthode d'analyse de causes racines supportée par la donnée pour les sous-parties de gestion des fournisseurs et de la demande ainsi que pour la sous-partie de distribution de la chaîne d'approvisionnement pour les entreprises gérant des actifs roulants.

CHAPITRE 5 ÉTUDE NORMATIVE

Ce chapitre présente de façon détaillée l’élaboration de notre modèle, à savoir, une méthode d’analyse de causes racines ciblée et priorisée, valorisant les données stockées dans les systèmes de gestion d’entreprise, pour supporter les opérations de résolution de problème d’une chaîne d’approvisionnement. Ce modèle a pour but d’améliorer les performances logistiques du cas d’étude décrit dans le chapitre précédent à l’aide d’un choix judicieux de techniques et d’activités à réaliser au sein des cinq phases du processus d’analyse de cause racine proposées dans le chapitre 2 de revue de la littérature.

5.1 Outils d’élaboration du processus

Le corpus d’articles de la revue de littérature réalisée dans le chapitre 2 de ce mémoire ne présente aucun formalisme de cartographie de processus d’analyse de causes racines dans son ensemble. La cartographie de la méthode d’analyse de causes racines proposée dans ce chapitre vise à représenter les acteurs, les activités, les responsabilités et les interactions au sein des différentes phases de la méthode. Une revue de la littérature sur les formalismes de cartographie des processus d’analyse de causes racines a été conduite sur Scopus avec la stratégie de recherche suivante : « ("RCA" OR "Root cause analysis") AND ("supply chain") AND ("process model" OR "process cartography") ». Cette requête sort quarante-cinq articles scientifiques, mais aucun n’adresse de façon claire la cartographie du processus d’analyse de causes racines pour les chaînes d’approvisionnement dans son ensemble. Nous décidons alors de nous inspirer des propositions des chercheurs de la revue de la littérature.

Certains des auteurs proposent des cartographies de processus partielles pour les phases de mesure et de définition du problème et pour la phase d’implantation des solutions. Mezouar et El Afia (2019) utilisent le formalisme BPMN (Business Process Modeling Notation), version améliorée des standards de cartographie américains ANSI (American National Standards Institute), pour représenter les activités, les acteurs ainsi que les flux physiques et les flux d’information de la chaîne d’approvisionnement de leur cas d’étude. Le formalisme BPMN est un processus normalisé très rependu (norme ISO/CEI 19510), qui a fait ses preuves dans la représentation de processus décisionnel avec un niveau de détail élevé. Nous choisirons ce formalisme pour représenter le processus d’analyse de causes racines de ce mémoire au travers des phases de l’analyse de causes

racines mis en évidence dans le chapitre 2. Pour ce travail, les symboles de BPMN de la figure 5.1 seront utilisés.

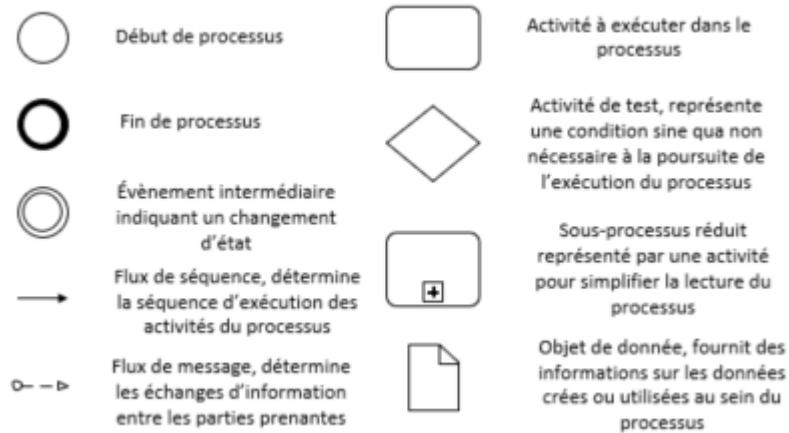


Figure 5.1 Symboles de cartographie des processus sous le formalisme BPMN tiré de la norme ISO/CEI 19510.

5.2 Développement de la méthode

L'étude descriptive du cas d'étude nous a permis d'identifier le besoin et les contraintes du partenaire industriel. L'analyse de causes racines supportée par la donnée est ressortie comme étant une méthode de résolution de problèmes viable pour répondre aux enjeux identifiés chez le partenaire. Pour constituer une base pour le développement de la méthode proposée dans cette étude, nous nous basons sur les méthodes proposées dans la revue de littérature de ce mémoire. Nous décidons de sélectionner les travaux de Schmidt et al. (2019) qui présentent quatre des cinq phases du processus d'analyse de causes racines identifiées dans la revue de littérature et qui valorise de façon très claire le savoir des experts de l'entreprise dans sa méthode d'analyse de causes racines. Cependant, les travaux de Schmidt et al. (2019) ne présentent pas les cinq éléments obligatoires du modèle MEM de Zellner (2011) et ne sont appliqués que pour les sous-parties de distribution et de production de la chaîne d'approvisionnement identifiées par Dumistrascu et al. (2020).

Nous décidons d'enrichir la méthode de Schmidt et al. (2019) en lui apportant une identification claire des rôles et des responsabilités ainsi qu'un modèle d'information pour répondre à l'évaluation de Zellner (2011). Nous traiterons de la phase de mise en évidence et d'implantation

des solutions omise par les chercheurs, puis nous enrichirons ces méthodes avec les éléments d'amélioration proposés dans la revue critique de la littérature. Ces éléments visent à exporter le modèle aux sous-parties de gestion de la demande et des fournisseurs d'une part, puis à proposer une segmentation du travail des analystes par responsabilités pour éviter que les analyses effectuées ne soient caduques ou dédoublées.

Nous proposerons enfin notre modèle unifié au format BPMN et nous identifierons pour chacune des phases et des activités ce qui est inspiré des travaux originels de Schmidt et al. (2019), ce qui provient du reste de la littérature et enfin ce qui provient de notre contribution personnelle pour répondre aux besoins du cas d'étude.

Nous avons décidé, par initiative pratique, de regrouper la phase d'identification des solutions et la phase d'implantation de ces dernières présentées dans le chapitre 2 de ce mémoire. Nous nous sommes rendu compte que les activités proposées dans ces deux phases sont très liées et qu'il est pertinent, d'un point de vue pratique, de les réaliser au sein d'une même phase. Le processus d'analyse de causes racine évolue alors comme présenté dans le tableau 5.2 ci-dessous.

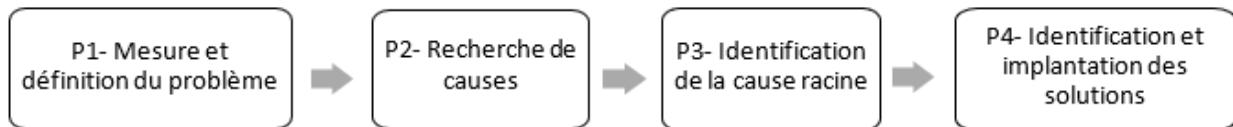


Figure 5.2 Phases de la méthode d'analyse de causes racines.

5.3 Méthode d'analyse de causes racines pour les chaînes d'approvisionnement

Cette section présente la méthode d'analyse de causes racines supportée par la donnée pour les chaînes d'approvisionnement de ce mémoire. Cette section se divise en quatre parties qui font écho aux quatre phases de la figure 5.2.

5.3.1 Phase de mesure des performances et de définition du problème

La première phase P1 de la méthode proposée est la phase de mesure et de définition du problème rencontré. Elle se divise en trois sous parties qui traitent de l'initialisation de la méthode d'analyse de causes racines, le choix des métriques de mesure de performance et se conclut par la mise en place de ces derniers au sein d'un outil de forage de la donnée.

5.3.1.1 Initialisation de la méthode d'analyse de causes racines

Cette partie s'intéresse à la façon dont le responsable de la chaîne d'approvisionnement va initier le processus d'analyse de causes racines ainsi que la phase de mesure et de définition du problème au sein de son organisation.

Eckert et Hughes (2010) suggèrent d'initier le processus d'analyse de causes racines en cartographiant la chaîne d'approvisionnement. Dans cette cartographie, les auteurs soulignent le besoin de mettre en évidence les matériaux intrants et sortants ainsi que les délais de chacune des activités du processus d'approvisionnement. En accord avec les travaux Mezouar et El Afia (2019), nous proposons d'utiliser le formalisme BPMN pour cette étape. Dans cette cartographie, le responsable de la chaîne d'approvisionnement va agréger les activités de la chaîne d'approvisionnement par responsable, représenter les flux de matières et d'informations au travers de chacune des activités dans un objectif de clarifier et de maîtriser le processus d'approvisionnement.

La seconde étape de l'initialisation du processus d'analyse de causes racines est de définir des indicateurs de performance au niveau stratégique pour suivre et analyser les performances de la chaîne d'approvisionnement dans son ensemble. Ces indicateurs de performance doivent être attachés à des objectifs qui représentent le niveau de performance attendu en sortie de chaîne d'approvisionnement. Ce sont ces indicateurs qui seront communiqués à la direction pour adresser les résultats stratégiques des activités d'approvisionnement au sein de l'entreprise.

Enfin, l'initialisation du processus d'analyse de causes racines doit venir définir une fréquence d'analyse des performances pour conduire les analyses causales. Une fréquence d'analyse trop courte nuira à l'analyse des impacts des actions prises pour la résolution des problèmes et une fréquence d'analyse trop élevée ne permettra pas de réagir assez rapidement aux problèmes d'approvisionnement. Nous conseillons une fréquence d'analyse hebdomadaire ou mensuelle pour ce processus.

5.3.1.2 Choix des métriques et mesure de performance

Janeš et Faganel (2013) identifient le besoin de lier les indicateurs de performance stratégiques aux indicateurs de performance opérationnels au travers d'un cas d'étude. Comprendre les relations qui existent entre ces deux types d'indicateurs permet aux entreprises d'atteindre leurs objectifs

stratégiques en portant leurs efforts sur l'atteinte des objectifs de performance au niveau des opérations de la chaîne d'approvisionnement. Handfield et al. (2013) identifient la satisfaction des demandes clients comme la tendance la plus importante à suivre pour l'atteinte des objectifs stratégiques des chaînes d'approvisionnement dans un horizon de cinq ans. Dumastricus et al. (2020) sondent la littérature pour proposer une subdivision de la chaîne d'approvisionnement en neuf entités distinctes auxquelles il lie les cinq indicateurs de performances les plus importants pour le suivi des performances opératives de chacun de ces sous-systèmes. La littérature offre finalement un large choix de métrique à mettre en place pour adresser la performance de la chaîne d'approvisionnement d'une entreprise.

Pour choisir un indicateur de performance parmi tous ceux proposés dans la littérature, nous proposons un ensemble de critères et de recommandations. Le choix des indicateurs est assez libre dans le processus d'analyse de causes racines présenté dans ce mémoire. Le point important reste toutefois de lier des objectifs et des cibles de performance aux indicateurs implantés.

Au niveau stratégique, nous préconisons la mise en place d'un indicateur pour évaluer la qualité du service à la clientèle en sortie de chaîne. La clientèle est plus généralement le demandeur du service d'approvisionnement. Härtel et Nyhuis (2019) suggèrent par exemple la mise en place d'indicateurs de suivi du taux de service, de date de livraison ou encore de satisfaction de dates de livraison annoncées.

Au niveau opérationnel, la première recommandation est de cibler une liste d'indicateurs dont le responsable est désireux d'implanter au niveau des opérations. Pour constituer cette liste, nous recommandons les travaux très récents de Dumastricus et al. (2020). Cette dernière sera analysée et priorisée en fonction de la donnée disponible dans le système d'information de l'entreprise. Si les indicateurs de performance ont pour but de représenter la qualité des opérations dans le processus d'approvisionnement, le système de gestion d'entreprise a, quant à lui, pour rôle de tracer et contrôler le suivi des opérations d'approvisionnement. Un indicateur de performance montrera son efficacité si les rapports produits par le système d'information sont fiables et justes. La capacité à extraire ces informations, à les comprendre, doit influencer la classification des indicateurs de performance. Finalement, c'est la maîtrise de la donnée qui supportera le choix des indicateurs à implanter.

Nous suggérons de définir les rôles et les responsabilités des acteurs qui conduiront les analyses de causes racines dès la phase de choix des métriques et de mesure de performance. Cette définition des rôles vise à fragmenter le catalogue d'articles pour cloisonner les analyses. De cette manière les analyses dédoublées ou caduques sont évitées. La délimitation des responsabilités des analystes doit être établie d'une manière à partager la charge de travail des analyses de façon équitable entre les différents acteurs. Un article très régulièrement commandé dans les centres de réparation nécessitera une charge de travail et un suivi plus important qu'un article commandé une fois tous les deux ans. Un article stocké dans dix magasins différents demandera plus de suivi qu'un article uniquement stocké à l'entrepôt central, etc. C'est cette charge de travail que le responsable de la chaîne d'approvisionnement doit estimer pour partager les responsabilités des analystes dans le processus d'analyse de causes racines.

5.3.1.3 Mise en place des indicateurs de performance

Les questions auxquelles nous répondrons dans cette partie traiteront de la production d'un cadre d'analyse de performance efficace pour conduire le processus d'analyse de causes racines. La littérature regorge de publications sur les bonnes pratiques de développement de tableaux de bord (Presthus et Canales, 2015). Nous ne nous attarderons pas sur ce point. Nous soulignons le besoin des tableaux de bord pour réaliser une analyse de performance rapide et synthétique, pour identifier les entités logistiques critiques de la chaîne d'approvisionnement sur des périodicités fixes. Le tableau de bord est finalement un outil de suivi et pas un outil d'analyse de performance.

Dans le processus d'analyse de causes racines de cette étude, nous préconiserons la mise en place d'un outil de forage de la donnée. Cet outil de forage devra permettre aux responsables de l'analyse de naviguer efficacement dans la donnée par le biais de filtres et d'actions intuitifs pour sélectionner l'information qu'il juge pertinente pour son analyse. À la différence du tableau de bord, l'outil de forage de la donnée permettra de faire varier les horizons temporels d'analyse, de cibler des problèmes par responsabilité dans le processus d'approvisionnement et plus généralement de réaliser les opérations de définition et d'analyse détaillée des problèmes constatés.

5.3.2 Phase de recherche de causes

Dans la revue critique de la littérature, nous avons identifié deux catégories de méthodes d'exploration des causes : les méthodes d'exploration basées sur les savoirs d'experts et les méthodes d'exploration par modèles quantitatifs de valorisation de données. Nous essaierons de lier ces deux méthodes dans notre processus de recherche de causes.

La méthode de recherche de causes appuyée par le savoir des experts de la chaîne d'approvisionnement est très performante en phase de recherche préliminaire pour dégrossir l'analyse. Les experts connaissent les faiblesses et les scénarios du processus d'approvisionnement par expérience. Le savoir des experts permettra de mettre en place un arbre de causes racines ramifié permettant d'identifier, sur plusieurs niveaux, toutes les causes fondamentales possibles pour expliquer une non-performance source. Pour identifier l'ensemble des causes, le corps d'experts doit se poser la question du « pourquoi » à propos d'un problème donné et s'arrêter une fois que l'ensemble des causes racines identifiées devient insécable. Une fois que le savoir des experts est tari, l'outil de forage de la donnée prendra la relève pour mettre en évidence de nouvelles causes fondamentales expliquant la non-performance. Ces nouvelles causes peuvent provenir du jeu de données en lui-même : une partie de l'information du rapport source est peut-être erronée, des pratiques de mauvaise saisie de l'information ou encore des comportements logistiques insoupçonnés peuvent être mises en lumière par exploration de la donnée.

Le processus de recherche de causes s'arrête une fois que toutes les parties prenantes s'accordent à dire que l'analyse est complète. Dans le cas où certaines causes racines manquent, le processus d'identification de la cause racine risque de ne pas être capable d'identifier la raison source d'une non-performance. Si ce processus faillit dans son identification, les responsables sauront qu'une cause fondamentale a été omise et, grâce à l'outil de forage de la donnée, cette non-performance pourra être analysée manuellement pour comprendre la cause fondamentale de son essence.

Finalement, le processus décrit dans cette partie est itératif. L'identification des causes racines n'est jamais parfaite, car la chaîne d'approvisionnement performe dans un environnement changeant dans lequel de nouvelles erreurs et de nouveaux comportements finiront toujours par émerger. La maîtrise du processus s'acquiert par expérience.

5.3.3 Phase d'identification de la cause racine

Dans l'étape précédente, nous avons recommandé la mise en place d'un arbre de causes racines sur plusieurs niveaux. Cet arbre de causes racines identifie des classes de causes, elles-mêmes expliquées par des causes fondamentales plus profondes. En phase de maturité cet arbre de cause racine peut être très complexe. Il vise à identifier toutes les causes fondamentales d'un processus lui-même complexe.

L'émergence et l'identification de la non-performance d'une entité au sein de la chaîne d'approvisionnement va initier le processus d'analyse de causes racines. Dans le cas d'une chaîne d'approvisionnement, l'entité problématique à analyser sera souvent l'article voire le groupe de marchandises. Un article est décrit par un ensemble de paramètres logistiques comme la stratégie de stockage, le lieu de stockage, le type d'article, etc; pour répondre à une demande en bout de chaîne d'approvisionnement. Si la demande initiale du client n'est pas comblée ou partiellement comblée dans les délais annoncés, nous cherchons à comprendre pourquoi. Pour ce faire, l'arbre de causes racines couplé à l'outil de forage de la donnée sera un outil d'une aide capitale. Dans le processus présenté dans ce mémoire, nous préconisons de placer en bout de chacune des ramifications de l'arbre de causes racines une métrique permettant d'identifier de manière unique chacune des causes. Cette métrique agira en tant qu'alerte. Si la métrique est déclenchée, la cause racine associée à la ramification en question sera responsable de la non-performance.

L'ensemble des caractéristiques d'approvisionnement de l'entité logistique analysée ainsi que les propriétés de la demande client non comblée permettront d'identifier chacune des causes fondamentales liée à la non-performance. Plusieurs métriques peuvent se déclencher lors de l'analyse. C'est pourquoi nous préconisons de prioriser les causes racines en bout de ramification de l'arbre en termes de criticité. Par exemple, une mauvaise saisie de la commande dans le logiciel de gestion d'entreprise est possible, mais plutôt peu fréquente. À chaque mauvaise saisie de la commande dans le logiciel, une non-performance émerge. A contrario, une mauvaise paramétrisation des caractéristiques d'approvisionnement d'un article conduira de façon plus régulière à une non-performance. La deuxième cause fondamentale est plus critique que la première même si l'impact direct en sortie de chaîne d'approvisionnement est le même. La priorisation des causes permettra de prioriser les actions à mener dans une optique de résolution de problème

procédurale et séquencée. Quand plusieurs causes fondamentales émergeront, les actions à mener seront finalement déjà classées par ordre d'exécution.

En incorporant cet arbre de cause racine à l'outil de forage de la donnée nous pouvons cibler un article ou un groupe de marchandise à faire passer au travers de l'arbre de causes racines. En fonction des métriques déclenchées au sein de ce dernier, la personne responsable de l'analyse peut comprendre les causes fondamentales menant aux non-performances associées à l'entité logistique.

5.3.4 Phase d'identification et d'implantation des solutions

Le processus d'identification des solutions vient associer à chacune des causes fondamentales de l'arbre de causes racines une action corrective. Si l'arbre de causes racines est suffisamment détaillé, l'identification des solutions devient très facile, voire triviale. Pour ce processus nous recommandons l'intervention des experts de la chaîne logistique.

L'exécution du processus d'identification de la cause racine viendra pointer une action corrective. Dans la phase d'identification de la solution, le but est de renseigner la procédure à exécuter lors de l'émergence de la cause racine associée. Chaque solution doit être suffisamment détaillée pour que la personne responsable de l'analyse de causes racines puisse exécuter la procédure corrective sans encombre.

La phase d'implantation des solutions est primordiale dans la méthode d'analyse de causes racines. Elle constitue la clef de voûte du processus d'analyse. Si la cause racine est correctement identifiée et que les actions correctives manquent de rigueur alors l'ensemble du processus tombe à l'eau. Il est très important d'effectuer un suivi temporel des actions mises en place. Inversement, si la solution est rigoureusement implantée et que les performances de l'entité logistique analysée n'évoluent pas positivement, alors le processus d'identification de la cause racine sera à questionner.

Il est important de garder une trace des actions prises par chacun des responsables de l'analyse de causes racines pour éviter que les efforts fournis par les différents acteurs ne se cannibalisent. Une analyse des effets de la solution implantée sur une période trop courte pourrait conduire à une mauvaise estimation des résultats apportés par cette dernière. Une analyse des effets de la solution sur une période trop longue immobilisera des ressources nécessaires ailleurs. Le suivi des actions menées lors de la phase d'implantation des solutions permettra à un responsable de la chaîne

d'approvisionnement d'évaluer les efforts fournis par les différents analystes pour corriger une situation problématique. Nous recommandons alors de suivre les effets de la solution identifiée pendant 3 mois après son implantation. Cette valeur a été déterminée par expérience par application de la méthode au cas d'étude.

5.4 Processus et diagramme BPMN complet

La phase de développement de la méthode consiste en la mise en place d'un outil d'analyse de causes racines pour supporter la prise de décision au sein de la chaîne d'approvisionnement. Les activités de la méthode sont divisées en quatre phases que l'on peut traduire en processus qui représentent les cinq phases de l'analyse causale proposée dans la revue de littérature de ce mémoire.

La figure 5.3 représente la phase P1 de mesure et de définition du problème au format BPMN. On y voit trois niveaux hiérarchiques qui sont la haute direction, le responsable de la chaîne d'approvisionnement et l'expert de la donnée au sein de l'entreprise. Les activités identifiées pour ces phases sont celles décrites dans la sous-partie 5.3.1 de ce chapitre. Le formalisme BPMN permet de représenter les acteurs responsables de la conduite de chacune de ces activités dans les trois couloirs représentant les trois niveaux hiérarchiques présentés plus tôt.

La provenance des activités présentées dans les différents processus est détaillée par un code couleur décrit dans la figure 5.4. Plusieurs des activités proposées sont issues d'une initiative personnelle (en blanc) permettant de répondre aux besoins du cas d'étude et aux manques à combler de la revue de littérature. Une autre partie des activités proposées (en vert) est directement issue des travaux de Schmidt et al. (2019) qui ont servi de base au développement de la méthode. Enfin une dernière partie des activités (en orange) est issue des autres contributions de la littérature et fait écho aux points forts des propositions de la revue critique de la littérature.

La figure 5.5 présente la phase P2 de recherche de causes de la méthode d'analyse de causes racines. Elle fait intervenir de nouveaux acteurs qui sont les experts de la chaîne d'approvisionnement. Ce sont eux qui sont responsables d'initier la recherche de causes. La phase de recherche de cause est en boucles itératives et permet de proposer un arbre de causes racines consolidé en fin d'exécution.

La figure 5.6 présente la phase P3 d'identification de la cause racine. Ici, seuls les experts de la chaîne d'approvisionnement et l'expert de la donnée sont impliqués. Les activités de l'identification de la cause racine sont présentées dans la partie 5.3.3 de ce chapitre. Lorsque l'outil de forage de la donnée n'est pas capable d'identifier la cause racine il faudra se demander si certaines causes fondamentales ont été omises. C'est pourquoi le processus présenté fait appel à au processus de recherche de cause P2.

Enfin, la figure 5.7 présente la phase P4 d'identification et d'implantation des solutions. Les activités identifiées pour cette phase sont présentées dans le sous-chapitre 5.3.4. L'exécution de cette phase permettra de définir et de mettre en place des procédures de résolution de problèmes et un cadre de suivi des actions correctives réalisées.

Les intrants, extrants, les activités, les rôles et les techniques de chacune des quatre phases de l'analyse de causes racines sont présentés dans les tableaux 5.1, 5.2 et 5.3. Ces tableaux sont structurés en six colonnes qui présentent au sein de chacune des phases les intrants nécessaires à l'exécution des activités proposées, les acteurs responsables de la conduite de chacune des activités, les extrants attendus ainsi que les techniques préconisées pour réaliser chacune des activités présentées. Le code couleur utilisé pour ces tableaux fait écho au code couleur de la figure 5.4. Les différents intrants et extrants sont identifiés par une codification présentée en fin de tableau 5.3. Cette codification permet de mettre en place un diagramme interrelationnel entre les différents intrants et extrants des activités de la méthode.

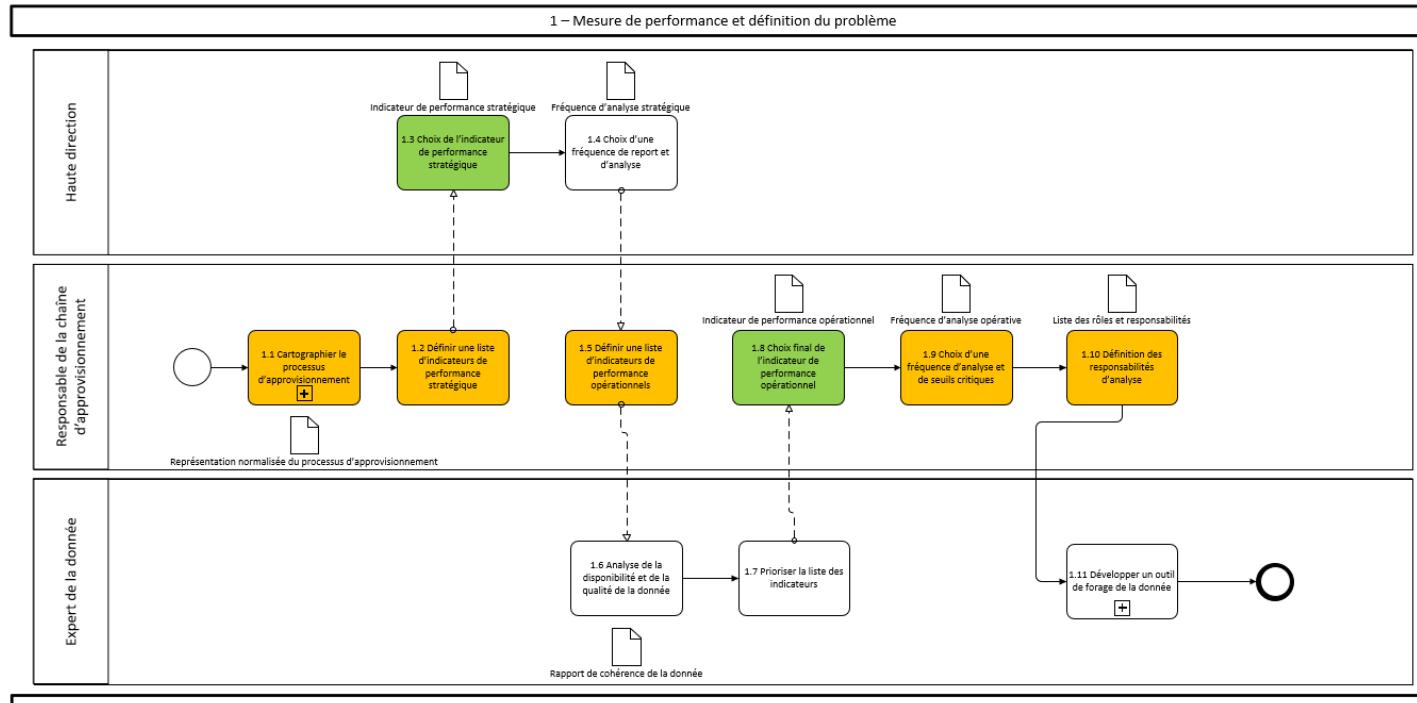


Figure 5.3 Processus de mesure des performances et de définition du problème



L'activité est présentée par Schimdt et al. (2019)



L'activité est proposée dans la littérature



L'activité est issue d'une initiative personnelle

Figure 5.4 Légende de couleur représentant la provenance des activités du processus

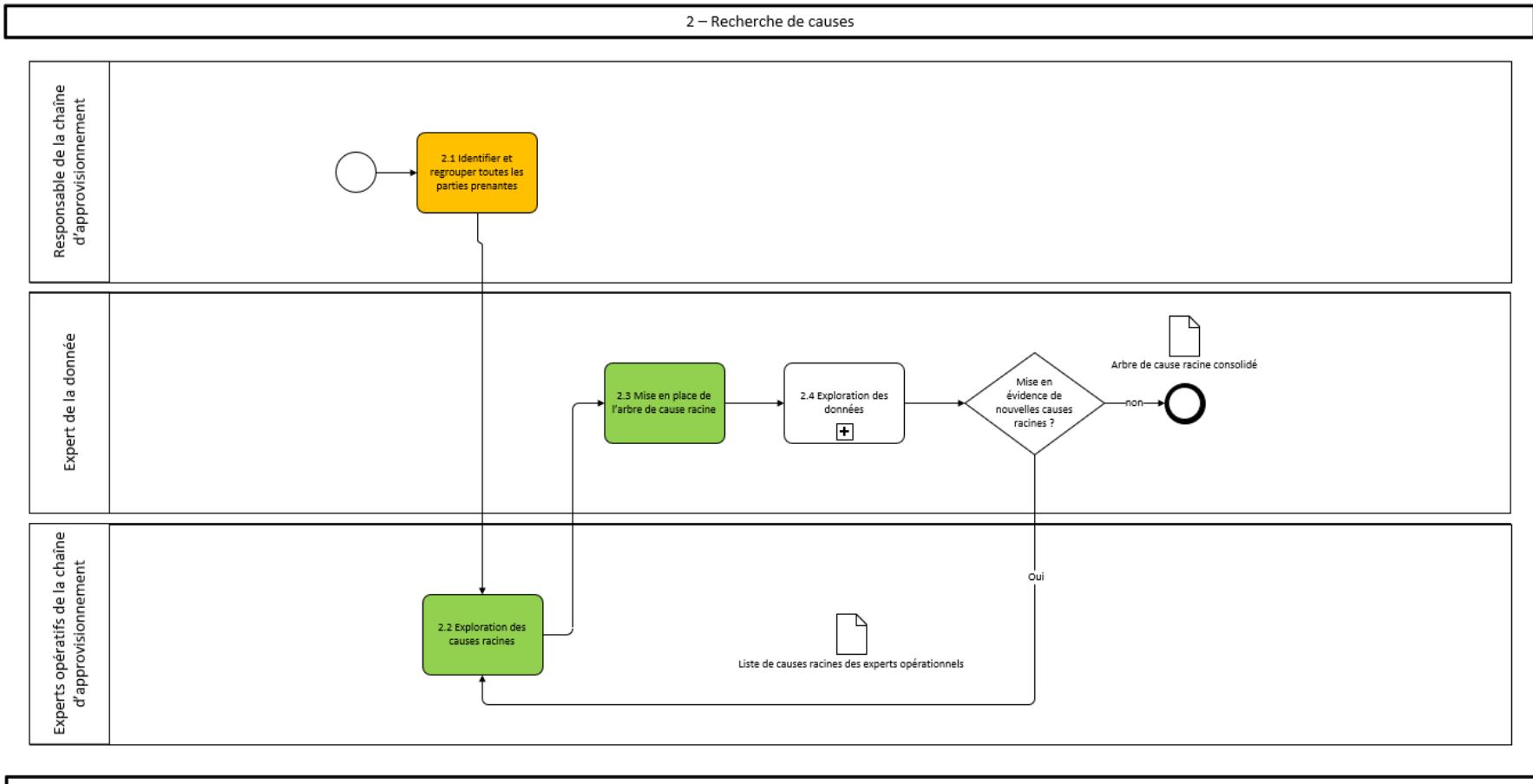


Figure 5.5 Processus de recherche de causes

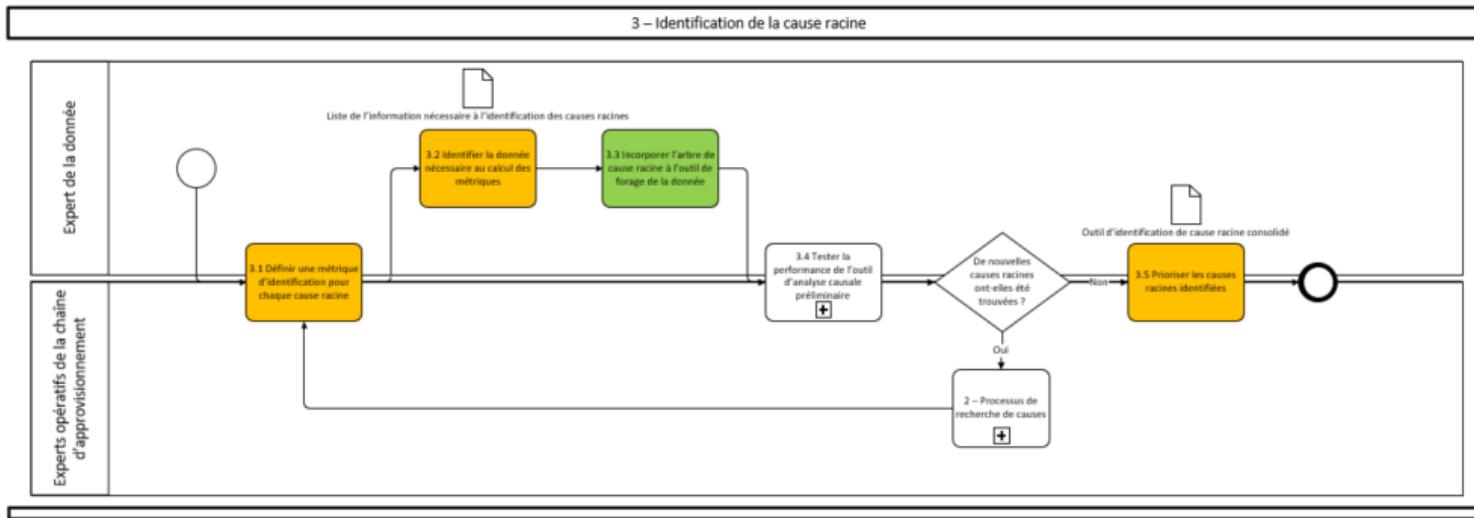


Figure 5.6 Processus d'identification de la cause racine

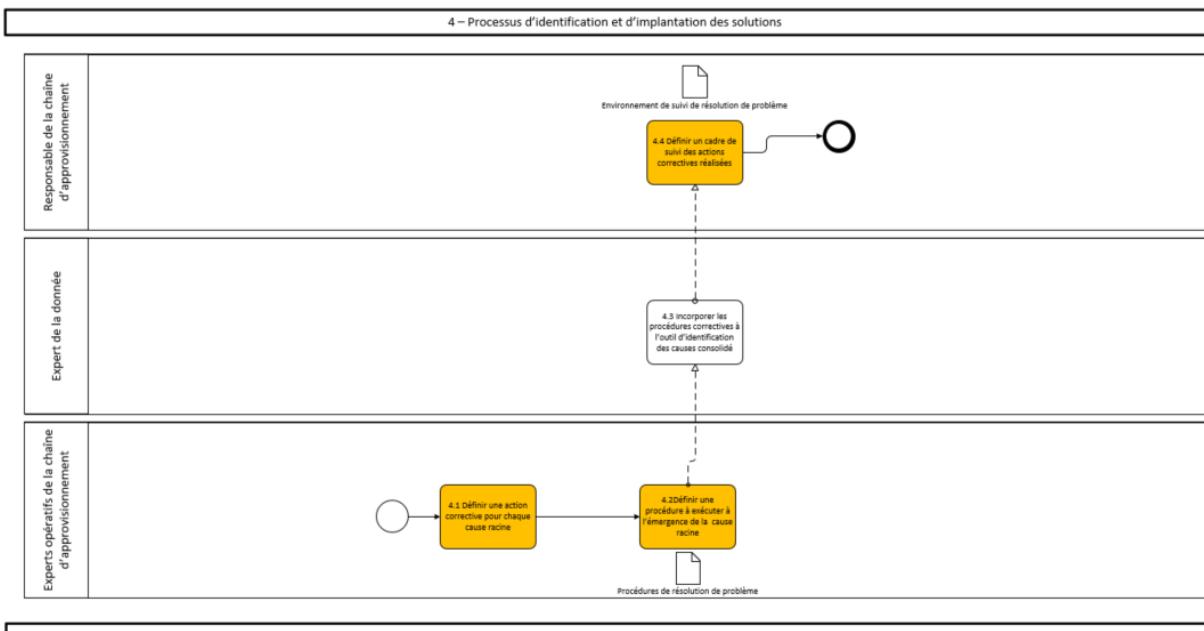


Figure 5.7 Processus d'identification et d'implantation des solutions

Tableau 5.1 Processus, intrants, activités, rôles, techniques et extrant de la méthode pour la phase P1

Phase	Intrants	Activités	Rôles	Techniques	Extrants	
P1 Mesure de performance et définition du problème	I1 Liste des sous-systèmes à analyser	1.1 Cartographier la chaîne d'approvisionnement	R1 Responsable de la chaîne d'approvisionnement	T1 Représentation BPMN	EI1 Représentation normalisée du processus d'approvisionnement	
	EI1 Représentation normalisée du processus d'approvisionnement	1.2 Définir une liste d'indicateurs de performance stratégique		T2 Techniques de recueil de l'information	EI2 Flux de matières et d'information du processus d'approvisionnement	
	EI4 Liste d'indicateurs de performance stratégiques	1.3 Choix de l'indicateur de performance stratégique	R2 Haute direction	T3 Revue de la littérature	EI3 Liste des intrants, extrants, responsables et délais des activités	
	EI5 Indicateur de performance stratégique	1.4 Choix d'une fréquence de report et d'analyse		T4 Savoir des experts	EI4 Liste d'indicateurs de performances stratégiques	
	EI2 Flux de matières et d'information du processus d'approvisionnement	1.5 Définir une liste d'indicateurs de performance opérationnel	R1 Responsable de la chaîne d'approvisionnement	T5 Consultation des partenaires	EI5 Indicateur de performance stratégique	
	EI3 Liste des intrants, extrants, responsables et délais des activités			T4 Savoir des experts	EI1 Fréquence de report et d'analyse	
	EI6 Liste d'indicateurs de performances opérationnels	1.6 Analyse de la disponibilité et de la qualité de la donnée	R3 Expert de la donnée	T5 Consultation des partenaires	EI6 Liste d'indicateurs de performances opérationnels	
	EI8 Temps d'extraction des rapports	1.7 Prioriser la liste des indicateurs		T4 Savoir des experts	EI7 Maîtrise des rapports produits par le système d'information	
	EI9 Rapport de cohérence de la donnée			T6 Techniques d'exploration de la donnée	EI8 Temps d'extraction des rapports	
	EI10 Liste priorisée d'indicateurs de performance opérationnels	1.8 Choix final de l'indicateur opérationnel	R1 Responsable de la chaîne d'approvisionnement	T7 Mesure des temps d'extraction	EI9 Rapport de cohérence de la donnée	
	EI8 Temps d'extraction des rapports	1.9 Choix d'une fréquence d'analyse et de seuils critiques		T8 Techniques de traitement de la donnée	EI10 Liste priorisée d'indicateurs de performance opérationnels	
	EI11 Indicateur de performance opérationnel			T4 Savoir des experts	EI11 Indicateur de performance opérationnel	
	I2 Liste des parties prenantes	1.10 Définition des responsabilités d'analyse	R1 Responsable de la chaîne d'approvisionnement	T4 Savoir des experts	EI12 Fréquence d'analyse et seuils critiques	
	EI12 Liste des rôles et responsabilités	1.11 Développer un outil de forage de la donnée	R3 Expert de la donnée	T3 Revue de la littérature	EI13 Liste des rôles et responsabilités	
	EI17 Maîtrise des rapports produits par le système d'information		R3 Expert de la donnée	T4 Savoir des experts	EI13 Outil de forage de la donnée	

Tableau 5.2 Processus, intrants, activités, rôles, techniques et extrant de la méthode pour la phase P2

Phase	Intrants		Activités		Rôles		Techniques		Extrants	
P2 Recherche de causes	I2	Liste des parties prenantes	2.1	Regrouper toutes les parties prenantes	R1	Responsable de la chaîne d'approvisionnement	T9	Techniques de communication et de planification	EI14	Equipe d'experts du domaine réunie
	EI14	Equipe d'experts du domaine réunie	2.2	Exploration des causes racines	R4	Experts opératifs de la chaîne d'approvisionnement	T4	Savoir des experts	EI15	Liste préliminaire des causes racines
	EI18	Situations inexpliquées par l'arbre de causes					T10	Techniques d'exploration de causes		
	EI23	Causes racines manquantes					T4	Savoir des experts	EI16	Arbre de causes racines préliminaire
	EI15	Liste préliminaire des causes racines	2.3	Mettre en place l'arbre de causes racines	R3	Expert de la donnée	T11	Test d'insécurité des causes		
	EI13	Outil de forage de la donnée	2.4	Exploration des données	R3	Expert de la donnée	T6	Techniques d'exploration de données	EI17	Arbre de causes racines consolidé
	EI16	Arbre de causes racines préliminaire					T12	Tests de cohérence empiriques	EI18	Situations non inexpliquées par l'arbre de causes racines

Tableau 5.3 Processus, intrants, activités, rôles, techniques et extrant de la méthode pour les phases P3 et P4

Phase	Intrants	Activités	Rôles	Techniques	Extrants
P3 Identification de la cause racine	EI17 Arbre de causes racines consolidé	3.1 Définir une métrique d'identification pour chaque cause racine	R3 Expert de la donnée R4 Experts opératifs de la chaîne d'approvisionnement	T3 Revue de la littérature T4 Savoir des experts	EI19 Métriques d'identification de chaque cause racine
	EI19 Métriques d'identification de chaque cause racine	3.2 Identifier la donnée nécessaire au calcul des métriques	R3 Expert de la donnée	T4 Savoir des experts	EI20 Liste de l'information nécessaire à l'identification des causes racines
	E13 Outil de forage de la donnée	3.3 Incorporer l'arbre de causes racines à l'outil de forage de la donnée	R3 Expert de la donnée	T4 Savoir des experts	EI21 Outil d'identification des causes racines préliminaire
	EI17 Arbre de causes racines consolidé				
	EI20 Liste de l'information nécessaire à l'identification des causes racines				
	EI21 Outil d'identification des causes racines préliminaire	3.4 Tester la performance de l'outil d'analyse causale préliminaire	R3 Expert de la donnée	T4 Savoir des experts	EI22 Outil d'identification des causes racines consolidé
	EI13 Outil de forage de la donnée		R4 Experts opératifs de la chaîne d'approvisionnement	T6 Technique d'exploration des données	EI23 Causes racines manquantes
P4 Identification et implantation des solutions	EI22 Outil d'identification des causes racines consolidé	3.5 Prioriser l'arbre de causes racines	R3 Expert de la donnée R4 Experts opératifs de la chaîne d'approvisionnement	T4 Savoir des experts T13 Technique de priorisation des risques	EI24 Outil d'identification des causes racines final
	EI24 Outil d'identification des causes racines final	4.1 Définir une action corrective pour chaque cause racine	R3 Expert de la donnée R4 Experts opératifs de la chaîne d'approvisionnement	T4 Savoir des experts	EI25 Liste d'actions correctives
	EI25 Liste d'actions correctives	4.2 Définir une procédure à exécuter à l'émergence de chaque cause racine	R3 Expert de la donnée R4 Experts opératifs de la chaîne d'approvisionnement	T4 Savoir des experts T14 Techniques de rédaction de procédures	EI26 Liste de procédures de résolution de problème
	EI22 Outil d'identification des causes racines consolidé EI26 Liste de procédures de résolution de problème	4.3 Incorporer les procédures correctives à l'outil d'identification des causes racines final	R3 Expert de la donnée	T4 Savoir des experts	E3 Outil d'analyse causale final
P4 Identification et implantation des solutions	EI26 Liste de procédures de résolution de problème	4.4 Définir un cadre de suivi des problèmes résolus	R1 Responsable de la chaîne d'approvisionnement	T3 Revue de la littérature	E4 Cadre de suivi des problèmes résolus

Codification :

Pi: Phase i de la méthode proposée

 L'activité est présentée par Schimdt et al. (2019)

Ik: Intrant n°k de la méthode proposée

 L'activité est proposée dans la littérature

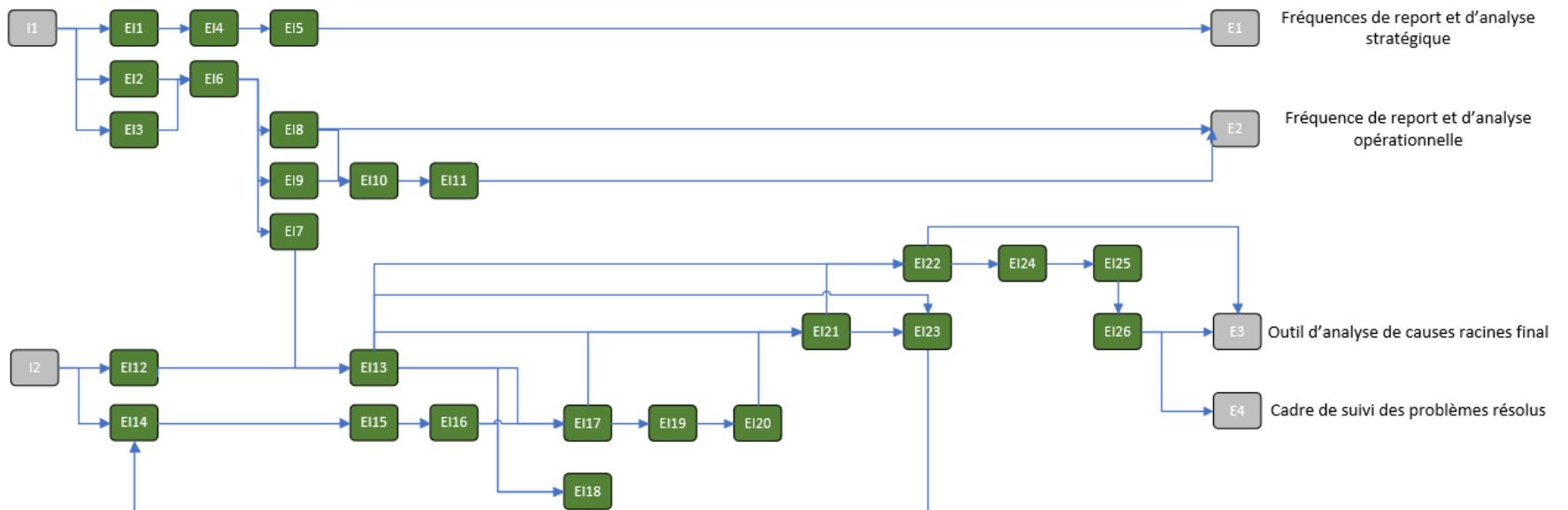
ij: activité j de la phase i de la méthode proposée

Rn: Technique d'indice n de la méthode proposée

Ein: Extrant d'indice n se transformant en intrant de la méthode proposée

En: Extrant d'indice n de la méthode proposée

 L'activité est issue d'une initiative personnelle



Codification basée sur les intrants et les extrants identifiés dans l'ANNEXE B

Figure 5.8 Diagramme interrelationnel entre les intrants et les extrants de la méthode

Le diagramme interrelationnel est présenté dans la figure 5.8. Ce diagramme interrelationnel vient s'assurer que chaque activité génère des extrants pertinents pour l'exécution de la méthode qui sont valorisés comme intrant dans une autre activité de la méthode. De ce fait, nous pouvons assurer que chacune des activités suggérées sont pertinentes et nécessaires à la mise en place de la méthode. Ce diagramme interrelationnel constituera notre modèle d'information pour l'évaluation de la méthode selon les indispensables de Zellner (2011). Il présente deux intrants qui sont la liste des acteurs de la mise en place de la méthode proposée et la liste des sous-systèmes de la chaîne d'approvisionnement à analyser. Ces deux intrants permettent de produire quatre extrants. Deux d'entre eux viennent cibler des fréquences d'analyse et de report et les deux derniers sont deux extrants matériels maintenus dans l'arbre de causes racines final et dans le cadre de suivi des actions correctives menées.

5.5 Conclusion

La méthode d'analyse de causes racines pour les chaînes d'approvisionnement proposée dans ce travail de recherche est le produit de connaissances issues de la revue critique de la littérature et de celles issues de la première étude descriptive du cas d'étude. La revue critique de la littérature a permis d'identifier une base au développement de la méthode tout en identifiant des voies d'amélioration et des opportunités de recherche sur le sujet d'étude. La première étude descriptive vient recentrer la revue de la littérature sur les besoins et les contraintes réels d'un cas d'étude performant dans un environnement concret.

La méthode proposée comprend un modèle de procédure, un ensemble de techniques et d'activités, des rôles, des résultats et un modèle d'information. Tous les impératifs à la définition d'une méthode selon Zellner (2011) ont été présentés dans ce chapitre. Cette méthode répond alors au troisième objectif de ce travail de recherche.

Jusqu'à ce point, la méthode proposée n'est restreinte à aucune des sous-parties de la chaîne d'approvisionnement proposées par Dumistrascu et al. (2020). Les indicateurs de performances au niveau stratégique ou opérationnel n'ont été définis que lors de la seconde étude descriptive. Ce choix d'indicateur viendra appuyer la proposition de cette méthode avec une contribution concrète venant aborder la résolution de problèmes pour les sous-parties de distribution, de gestion de la demande et de gestion des fournisseurs au sein d'une chaîne d'approvisionnement.

L'outil de forage de la donnée et le modèle de responsabilisation des analyses seront présentés lors de la seconde étude descriptive qui sera décrite au prochain chapitre. Elle cherchera à démontrer les forces et les faiblesses de la méthode proposée par application au cas d'étude et par analyse des performances du modèle proposé.

CHAPITRE 6 ÉVALUATION DE LA MÉTHODE

6.1 Introduction

Ce chapitre présente la dernière phase de la méthodologie de recherche, à savoir la seconde étude descriptive. Cette ultime étape est effectuée auprès de la STM, notre cas d'étude pour la première étude descriptive. Cette phase consiste en l'application de la méthode proposée lors de l'étude normative à un contexte réel d'entreprise. Nous discuterons dans ce chapitre de la façon dont la méthode a pris forme et a performé à la STM. Dans un effort de validation, nous cherchons à présenter et à discuter les résultats obtenus lors de l'implantation de la méthode à un cas concret.

6.2 Données recueillies lors de l'application de la méthode

Pour donner suite à l'analyse des contraintes et des besoins de la STM lors de la première étude descriptive nous avons développé une méthode d'analyse de causes racines pour les chaînes d'approvisionnement basée sur les données maintenue dans les systèmes de gestion des entreprises. Dans cette seconde étude descriptive, la STM sert de cas expérimental pour l'évaluation de la méthode. Puisque ce travail de recherche se base sur la méthodologie DRM, et non sur les méthodologies de recherche-action ou recherche-intervention, les chercheurs seront responsables de l'application de la méthode au cas d'étude. Par conséquent, les rôles et responsabilités identifiés dans la méthode proposée seront ignorés volontairement et serviront de support pour répliquer la méthode à d'autres cas d'étude. Cette section présente donc l'application de la méthode proposée et les résultats obtenus lors de cette seconde étude descriptive.

6.2.1 Mesure des performances et de définition du problème

La phase de mesure et de définition du problème débute par le choix des indicateurs de performance. Au niveau stratégique, le corps directeur de l'entreprise a décidé de mesurer son taux de service en sortie de chaîne d'approvisionnement. Quant à l'indicateur de performance opérationnel, c'est un suivi des ruptures enregistrées pour lequel a opté le gestionnaire de la chaîne d'approvisionnement. Ce choix s'est fait suite à l'analyse de la disponibilité de la donnée stockée dans l'ERP pour faire le suivi. La STM utilise SAP en guise de système d'information depuis 2019.

Avec une transaction développée sur mesure à l'interne, nous pouvons extraire du système d'information un rapport des ruptures enregistrées chaque jour de travail et constituer un historique de ruptures de stock. Le fait que cette transaction soit personnalisable a permis de choisir l'information liée à la rupture que nous voulions voir apparaître dans le rapport source. Pour finaliser la phase de mesure et de définition du problème, nous utilisons une plateforme d'analyse et de traitement des données au nom de Tableau. Tableau contient plusieurs outils : un outil au nom de Tableau Prep Builder (Tableau Prep Builder (2020.3.3)) pour travailler et mettre en forme la donnée et un outil de visualisations - Tableau Desktop (Tableau Desktop (2020.3.3)) qui nous a permis de développer un outil de fouille de donnée pour analyser les non-performances et pour naviguer efficacement dans la donnée sur les ruptures. La cible pour le Taux de Service est fixée par le corps dirigeant à hauteur de 80%. Celle pour le suivi des ruptures est directement liée à la valeur des inventaires détenus par l'entreprise. La cible parfaite pour le suivi des ruptures cherche à balancer le nombre de ruptures observé et la valeur monétaire des inventaires. Une valeur cible sur la valeur des inventaires a alors été déterminée. Finalement, minimiser le nombre de ruptures de stock observé dans le processus d'approvisionnement viendra améliorer la qualité du service en bout du processus d'approvisionnement et de ce fait, le taux de service.

La suite s'intéresse donc à la résolution de problème lorsqu'une rupture est observée. La STM gère une flotte imposante d'actifs roulants qui génèrent un grand nombre de besoins au sein de l'entreprise. Pour donner un ordre de grandeur, le nombre de ruptures dans le rapport quotidien atteint parfois les milliers. Parmi ces ruptures, une fraction correspond à des nouvelles ruptures très récentes. Une autre partie à des ruptures non-résolues plus anciennes. Ces ruptures non résolues sont le résultat du manque de capacité à traiter chaque jour les nouvelles ruptures. L'historique de rupture comprend aussi des ruptures dormantes dans le système qui expriment un besoin qui n'existe plus ou encore des lignes de réservation qui ne devraient pas être considérées comme des ruptures. Néanmoins, chacune des ruptures du rapport doit être analysée pour comprendre et corriger les problèmes d'approvisionnement ainsi que pour améliorer la qualité des rapports produits.

À la vue de la taille du catalogue du partenaire et du nombre de ruptures enregistré chaque jour, l'analyse de causes racines doit être priorisée et responsabilisée. La priorisation suit optique de Pareto en vue de résoudre les problèmes les plus impactant en premier. Pour ce faire, l'outil de fouille de donnée développé sur Tableau Destop est utilisé.

La résolution de problèmes à court terme vise à combler les ruptures en cours le plus vite possible. Quant à la résolution de problème sur le long terme, elle vise à corriger les paramètres d'approvisionnement des articles qui observent régulièrement des ruptures.

À la vue de la charge de travail, le corps décisionnel du partenaire a défini des règles de responsabilité pour l'analyse des ruptures. Le but étant de segmenter les responsabilités pour éviter les analyses dédoublées ou caduques. Cette règle de responsabilité a été établie de la sorte : une personne responsable d'un article dans un centre de réparation est responsable de cet article tout au long de la chaîne d'approvisionnement. Les analystes se sont plaints du fait que même en modifiant les paramètres d'approvisionnement de leurs articles dans les centres de réparation en bout de chaîne d'approvisionnement, si des problèmes interviennent plus tôt dans le processus d'acheminement des pièces, leurs performances ne peuvent pas s'améliorer. En responsabilisant un article par une unique personne tout au long de la chaîne d'approvisionnement, les analystes ont fait remonter la sensation d'être les vrais maîtres de leurs gammes d'articles. Par un raisonnement similaire, une personne responsable d'une pièce à fabriquer, s'est vu accordée la responsabilité de toutes les sous-composantes de cette pièce. Pour les sous-composants intervenant dans plusieurs gammes et nomenclatures d'articles à fabriquer, des conflits d'intérêt apparaissent. Plusieurs personnes se partagent la responsabilité du sous-composant. Ce cas de figure représente une faible partie du catalogue cependant une stratégie est mise en place pour assurer l'unicité de la donnée. Le départage s'est fait au cas par cas. Si deux personnes se départagent la responsabilité d'une pièce, le responsable qui enregistre le moins de ruptures remporte la responsabilité de la sous-composante.

Les articles restants sont répartis équitablement aux analystes par groupes de marchandises au sein des différentes divisions. Le processus de responsabilité couvre le catalogue du partenaire sans aucun trou. Les articles dont le groupe de marchandise est nul ont été mis en évidence, puis catégorisés et enfin attribués à un responsable.

6.2.2 Phase de recherche de causes

Débute alors la phase de recherche de causes. Elle vise à identifier l'ensemble des causes pouvant mener à une rupture chez le partenaire industriel. Par implication d'experts du processus d'approvisionnement, nous mettons en place une liste de toutes les causes imaginées et nous les plaçons dans un arbre ramifié. Après analyse empirique de la donnée, d'autres causes ont été mises

en évidence. Par exemple, les experts de la chaîne n'avaient pas conscience de certaines pratiques de commandes erronées étaient réalisées par les magasiniers dans les centres de réparations. Un autre exemple est la présence de pièces facultatives dans des gammes de fabrications qui enregistraient automatiquement une rupture dans le système. Par phases de revues successives, l'arbre de cause racine a gagné en consistance et en rigueur jusqu'à atteindre un nombre de 22 causes potentiellement responsable de la présence d'une rupture dans le rapport source. La phase de recherche de causes s'est clôturée lorsque nous avons estimé que nous avions capté l'ensemble des causes pouvant mener à la présence d'une rupture dans le rapport source. L'arbre de cause racine final est présenté dans la figure 6.1 ci-dessous.

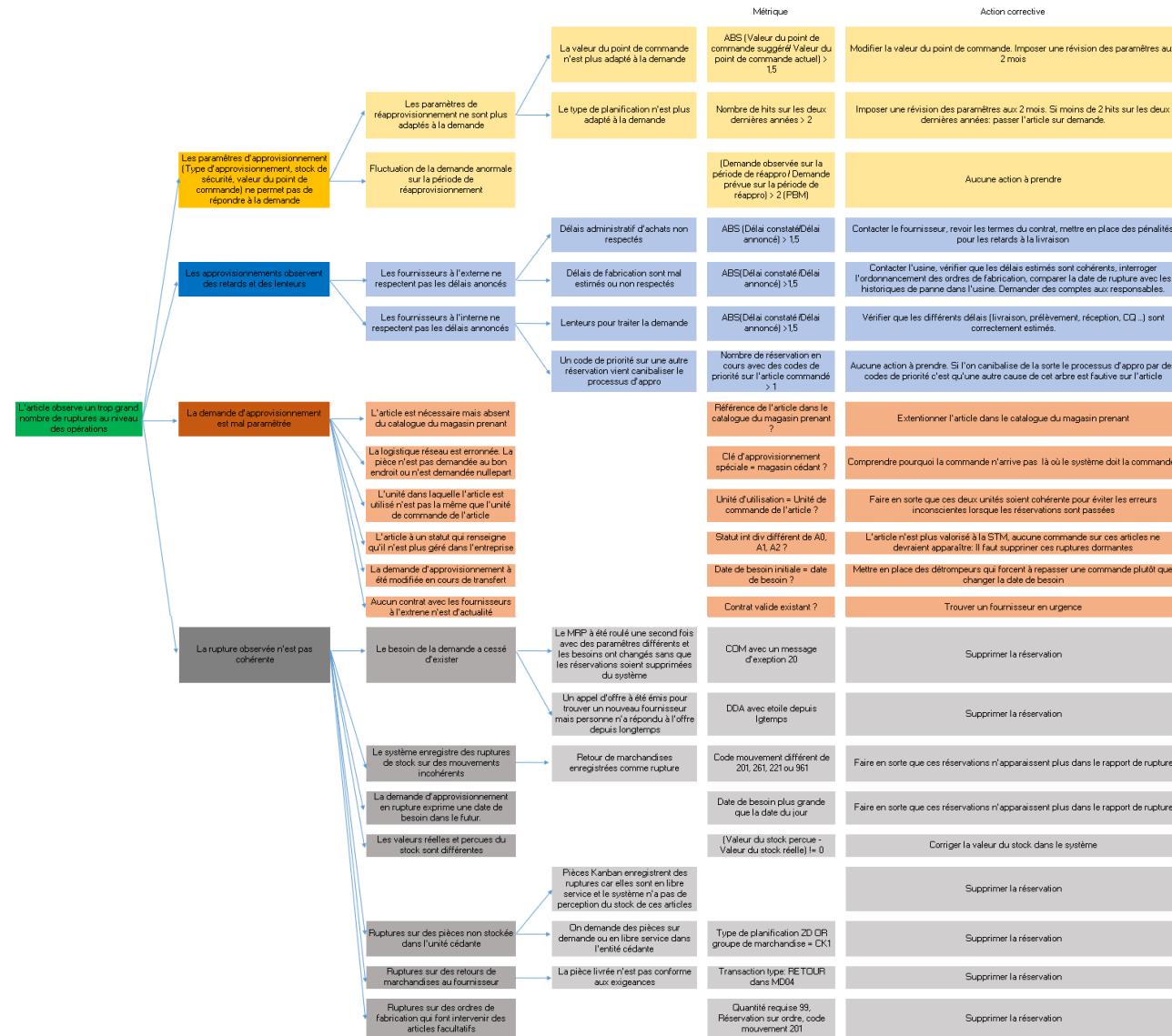


Figure 6.1 Arbre de causes racines complet

Nous y retrouvons quatre familles de causes : celles dues aux paramètres d'approvisionnement qui ne permettent pas de répondre à la demande client observée (en jaune), celles liées à des retards de réapprovisionnement des stocks (en bleu), celles liées à des demandes mal paramétrées dans le système de gestion d'entreprises (en brun) et celles qui présentent des lignes de réservation qui ne devraient pas apparaître dans le rapport de ruptures (en gris).

A l'horizontal, on y voit la décomposition de chacune des causes potentiellement responsables de la présence d'une rupture de stock dans le rapport source sur plusieurs niveaux hiérarchiques. Le dernier niveau hiérarchique en bout de ramifications présente les causes racines insécables. Ce sont les causes unitaires, que l'on ne peut pas expliquer par une cause plus profonde. On peut remarquer qu'un même symptôme source peut conduire à de multiples causes racines de profondeurs variables. Une fois que la cause devient insécable, nous sommes capables de définir une métrique d'identification pour chacune des causes racines. Ces métriques sont maintenues dans l'avant-dernière colonne de la figure 6.1. Ces métriques doivent permettre d'identifier de manière unique chacune des causes de l'arbre. A chacune des causes en bout de ramifications nous sommes capables de proposer une action corrective maintenue dans la dernière colonne de la figure 6.1 permettant de contrôler la cause racine associée et faire en sorte qu'elle ne soit plus responsable de l'émergence de nouvelles ruptures.

Les causes fondamentales apparaissent sur des niveaux hiérarchiques variables. Cela s'explique par le fait que dans certaines situations il est plus facile d'atteindre l'insécurité de la cause racine que dans d'autres. Certains scénarios conduisant à une rupture dans le rapport source sont plus simples à identifier que d'autres.

Une fois que cet arbre de causes racines est construit il est incorporé à l'outil de forage de la donnée. Les métriques identifiées sont traduites en voyants d'alertes et se déclenchent une fois qu'un ou plusieurs identifiants de ruptures sont sélectionnés.

6.2.3 Phase d'identification de la cause racine et phase d'identification et d'implantation des solutions.

Ces deux phases sont intimement liées lors de la mise en pratique de la méthode proposée. Avec le niveau de segmentation des causes racines de l'arbre construit, non avons pu identifier de manière triviale une mesure adéquate pour identifier chacune des ruptures de façon unique. Par une

mobilisation des experts de la chaîne d'approvisionnement, nous avons pu définir une action corrective en vue de la mise en place d'une procédure corrective pour chacune des causes racines. Cette procédure corrective doit contenir l'ensemble des actions à mener pour effectuer la mesure corrective liée à la cause racine identifiée.

L'indentification de la cause racine est réalisée par l'arbre de causes racines implanté à l'outil de forage de la donnée. En sélectionnant un article, un groupe de marchandise ou encore un ensemble de ruptures dans l'outil de forage de la donnée une ou plusieurs métriques de l'arbre de causes racines vont se déclencher. Un voyant rouge indiquera que la cause racine n'est pas responsable de la présence de la rupture dans le rapport source et un voyant vert indiquera que la cause racine est responsable de la présence de la rupture dans le rapport source. A chaque métrique déclenchée, une action corrective est proposée.

Lors de l'étude normative, nous avons suggéré de suivre les actions correctives effectuées pendant trois mois après leur mise en place. Pour suivre ces actions correctives, un cadre de suivi doit être développé. Deux options ont été identifiées pour répondre à ce besoin. La première consiste à placer une note dans SAP. Lorsque l'on exécute la transaction MD04, qui permet d'afficher l'état dynamique des stocks actuels d'un article dans un centre de stockage, nous pouvons placer une note. Toutefois, cette note n'est consultable que lorsqu'on exécute la transaction dans SAP sur le bon article dans le bon centre de distribution. Cette solution ne permettait pas à un responsable de l'approvisionnement de consulter l'ensemble des actions correctives en cours à suivre dans un seul et même document. Elle a donc été écartée. La seconde option consiste à la mise en place d'un fichier Excel partagé. Dans ce fichier, un analyste renseigne les actions correctives effectuées sur les articles sous sa gouverne. Il renseigne le nom de l'article sur lequel il a travaillé, le centre de distribution concerné, les paramètres de l'article dans ce centre de distribution et renseigne la cause racine identifiée sur cet article. Un responsable est alors en mesure de sélectionner le nom d'un analyste pour évaluer le travail d'implantation d'actions correctives et effectuer un suivi de ces dernières.

6.2.4 Exemple illustratif d'utilisation des outils produits par la méthode

Pour des soucis de confidentialité, nous ne pourrons présenter aucune donnée sensible de l'entreprise partenaire. Seule une partie des vues de l'outil de forage de la donnée pourra être présentée.

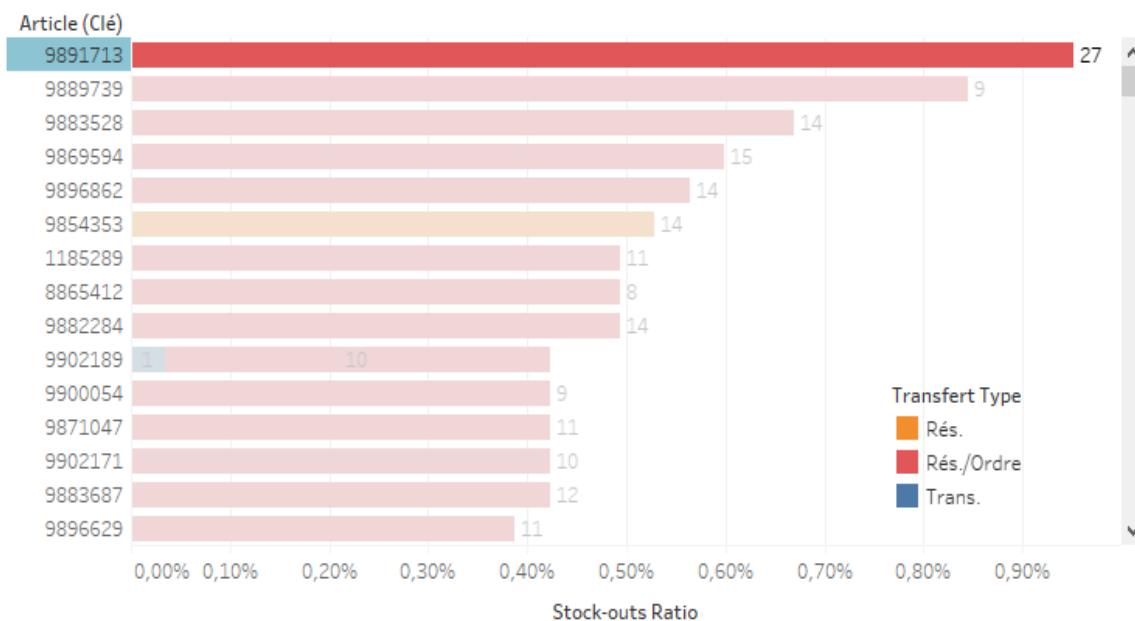


Figure 6.2 Compte des ruptures par article

Prenons l'exemple d'un analyste qui cherche à conduire une analyse de causes racines sur les articles les plus problématiques en termes de nombre de ruptures observées sous sa gouverne. L'analyste commence par ouvrir l'outil de forage de la donnée mis à disposition dans un répertoire de travail d'équipe. Il sélectionne son nom dans le filtre de responsable. Dès que son nom est sélectionné, l'outil se met à jour en quelques secondes et toutes les vues qu'il contient n'affichent plus que les ruptures de stock sur les articles dont est responsable l'analyste. Une première vue permet à l'analyste d'observer la tendance sur le nombre de ruptures sur les articles dont il est responsable sur un horizon temporel qu'il est libre de sélectionner. Une seconde vue regroupe par article, le nombre de ruptures observées. La figure 6.2 montre que dans cet exemple, l'article 9891713 est l'article qui a observé le plus de ruptures sur les 12 derniers mois. Il faut réagir et prendre des mesures correctives pour réduire le nombre de ruptures sur cet article dans le futur.

En cliquant sur un identifiant d'article sur cette vue, l'analyste applique un filtre dynamique sur tout l'outil. Chacune des autres vues n'affichera plus que les informations sur les ruptures enregistrées sur cet article. La figure 6.3 ci-dessous permet à l'analyste de comprendre si la tendance en ruptures sur cet article est saisonnière ou non. Il voit sur cette vue que la fréquence d'apparition des ruptures diminue. Cependant il apparaît que plusieurs ruptures ont émergé ces dernières semaines. Des actions doivent être prises pour corriger la situation.



Figure 6.3 Ruptures enregistrées par date de besoin

Sur une troisième vue maintenue dans l'outil de forage de la donnée, l'analyste peut voir sur quelles réservations cet article a enregistré des ruptures. En passant la souris sur les barres de la figure 6.4, l'analyste a accès à un ensemble d'information sur la rupture. Il peut connaître la date de besoin sur chacune des réservations, les quantités requises de l'article en question, les codes mouvements enregistrés dans le système ou encore si la rupture est toujours active ou si elle a été comblée par un code couleur à deux valeurs.

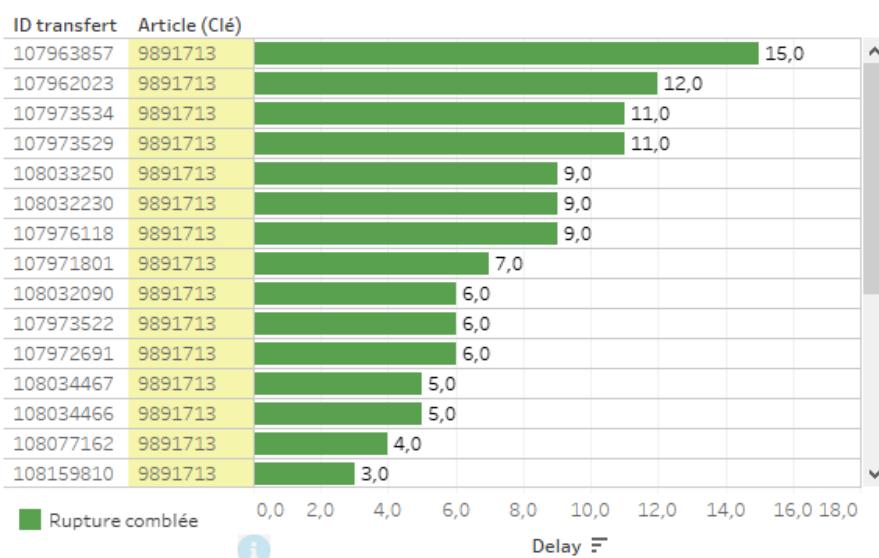


Figure 6.4 Identifiant des transferts en rupture

Sur un principe similaire, en passant la souris sur les barres de la figure 6.2, l'analyste a accès à de l'information sur les paramètres d'approvisionnement de l'article. Il peut connaître la stratégie de stockage en vigueur sur l'article, la valeur de son point de commande, le retard moyen observé sur les réservations de cet article, s'il a immobilisé un actif roulant ou non, s'il est sous contrat valide avec un fournisseur à l'externe, etc.

Basé sur les métriques déclenchées dans l'arbre de cause racine, l'analyste peut comprendre quelle est la cause racine suspectée qui expliquerait les ruptures sur cet article. Ici c'est la valeur du point de commande qui était trop faible. Quand la valeur du stock de l'article passe en dessous de la valeur du point de commande, une demande de réapprovisionnement est relâchée vers le magasin maintenu dans la clef d'approvisionnement spécial de l'article. Si le point de commande est trop faible, des ruptures risquent régulièrement d'apparaître pendant le délai de réapprovisionnement de l'article. Ici le point de commande doit être rehaussé de deux à cinq unités dans les centres de réparation.

Malheureusement l'intégralité de l'outil de forage de la donnée ne pourra pas être présentée car il détient des résultats opératifs sensibles. Toutefois, l'outil inclut plus de vues qui permettent par exemple d'afficher le nombre de ruptures en cours chaque jour ouvré, le nombre d'actifs roulants immobilisés par jour ouvré, le nombre de ruptures par entité logistique cédante, etc. La figure 6.1

montre l'arbre de causes racines, les métriques d'identification et les actions correctives identifiées pour chaque cause racine suspectée dans le processus d'approvisionnement du partenaire.

6.3 Validation, résultats et interprétations

La partie précédente montre la façon dont la méthode proposée à pris forme chez le partenaire pour l'étude, nous adressons maintenant les résultats et la validation du modèle proposé. La théorie de l'étude est assez peu questionnable. Elle repose sur des principes simples et sur des savoirs maintenus chez les experts au sein de l'entreprise partenaire. La question de savoir si les causes racines ont bien été identifiées et si les actions correctives sont les bonnes est un point que seuls les experts pourront challenger par expérience. Cette partie s'intéresse alors aux résultats et aux limitations scientifiques de l'étude.

Tout d'abord, la méthode proposée est itérative. L'arbre de causes racines n'est considéré complet que si les experts du domaine pensent avoir ciblé toutes les causes racines imaginables. Pour s'en assurer, nous devons analyser le taux de couverture des ruptures par les causes racines identifiées. Pour cela, nous prenons l'ensemble des ruptures et nous analysons pour chacune d'entre elles quelles métriques de l'arbre de causes racines se déclenchent.

Le volume de données nécessaire pour réaliser cette opération est très important. Les métriques identifiées pour l'ensemble des causes demandent par exemple les messages d'erreurs du MRP (*Materiel Requirement Planning*), des mesures de délais réels au niveau des opérations, des dates de dernière révision des paramètres d'approvisionnement, etc. Malheureusement une partie de cette information n'est pas détenue dans le système d'information du partenaire; car elle n'est pas maîtrisée. Toutefois, pour une autre partie de l'arbre, l'information nécessaire à l'identification des causes est disponible et régulièrement mise à jour. Le taux de couverture des ruptures identifiées avec ces métriques est présenté dans le tableau 6.1.

Tableau 6.1 Taux de couverture des ruptures

Extraction source	Nombre de ruptures	Pourcentage des ruptures
Article absent du catalogue article	224689	100%
Code mouvement incohérent	10	<0,01%
Date de besoin dans le futur	5659	2,50%
Article facultatif sur un ordre de fabrication	35704	15,80%
Demandes de pièces en libre service	22572	10,04%
Nombre de rupture non traitées	1697	0,75%
	175709	78,20%

De plus, une étude à l'interne a identifié que 5% des articles ont des valeurs de stocks insuffisants pour répondre à la demande, 90% des articles ont des paramètres de stockage adaptés à la demande et 5% des articles du catalogue ont un point de commande surestimé. Ce qui signifie que 5% des articles du catalogue du partenaire observent des ruptures régulières par sous-estimation des paramètres de stockage à l'interne.

En attendant que toute l'information soit disponible, les responsables de l'analyse peuvent forer la donnée en sélectionnant les ruptures dont ils sont responsables. Une fois qu'un analyste sélectionne son nom dans le filtre adéquat, il dispose d'une grande quantité d'information sur ses ruptures : dans quel centre de réparation la rupture a-t-elle été enregistrée ? L'article est-il sous contrat avec un fournisseur à l'externe ? Quels sont les délais de livraison attendus ? etc. Si l'information disponible ne déclenche aucune métrique, l'analyste poursuit son investigation en allant directement dans SAP chercher l'information manquante. S'il découvre une nouvelle cause racine, il doit la faire remonter à ses responsables.

Tableau 6.2 Évolution des performances

	Améliorations en %
Diminution de la valeur des stocks	8%
Amélioration de la proportion d'article avec un point de commande adapté	41%
Augmentation du Taux de Service	16%
Diminution du Taux d'autobus immobilisés par manque de pièce	6%

L'outil a été implanté le 1er février 2021. Les résultats observés à l'interne deux mois après l'implantation de la méthode sont présentés dans le tableau 6.2 ci-dessus. Nous observons sur le court terme une baisse des actifs immobilisés chez le partenaire, une augmentation du taux de service et une diminution des ruptures au sein des différentes divisions d'affaire sans augmentation de la valeur des inventaires. Cependant, il serait prétentieux d'affirmer que ces résultats sont uniquement dus à la méthode proposée. Ce pourrait être le résultat d'une tendance saisonnière. La durée du projet de recherche ne nous a pas permis de trancher sur la question. Toutefois, il est difficile de nier complètement l'impact de la méthode présentée sur ces résultats. Nous avons consolidé la donnée du partenaire, mis en évidence des comportements non désirés, apporté de la

maîtrise dans le processus d'approvisionnement, démocratisé l'utilisation d'outils d'analyse en libre-service. Les calculs des points de commande et du Taux de Service ont été retravaillés entre la date d'implantation de la méthode et la date d'analyse des résultats ce qui peut expliquer en partie ces fortes valeurs d'amélioration.

La figure 6.5 présente l'évolution du nombre de ruptures en cours par semaine pour le secteur autobus depuis le début de l'année 2020. Depuis la semaine 3, la tendance observée est à la baisse. À la fin du mois de juin, la valeur du nombre de ruptures en cours dans ce secteur est un tiers moins élevé qu'au début de l'année. Encore une fois, ce résultat peut être une tendance saisonnière. Cependant, lors de l'implantation de la méthode, nous avons mis l'accent sur la division autobus en développant l'outil pour les besoins particuliers de cette division puis nous l'avons exporté aux autres. Ces derniers mois, c'est plus de 500 articles qui ont vu leurs paramètres d'approvisionnement modifiés avec la méthode.

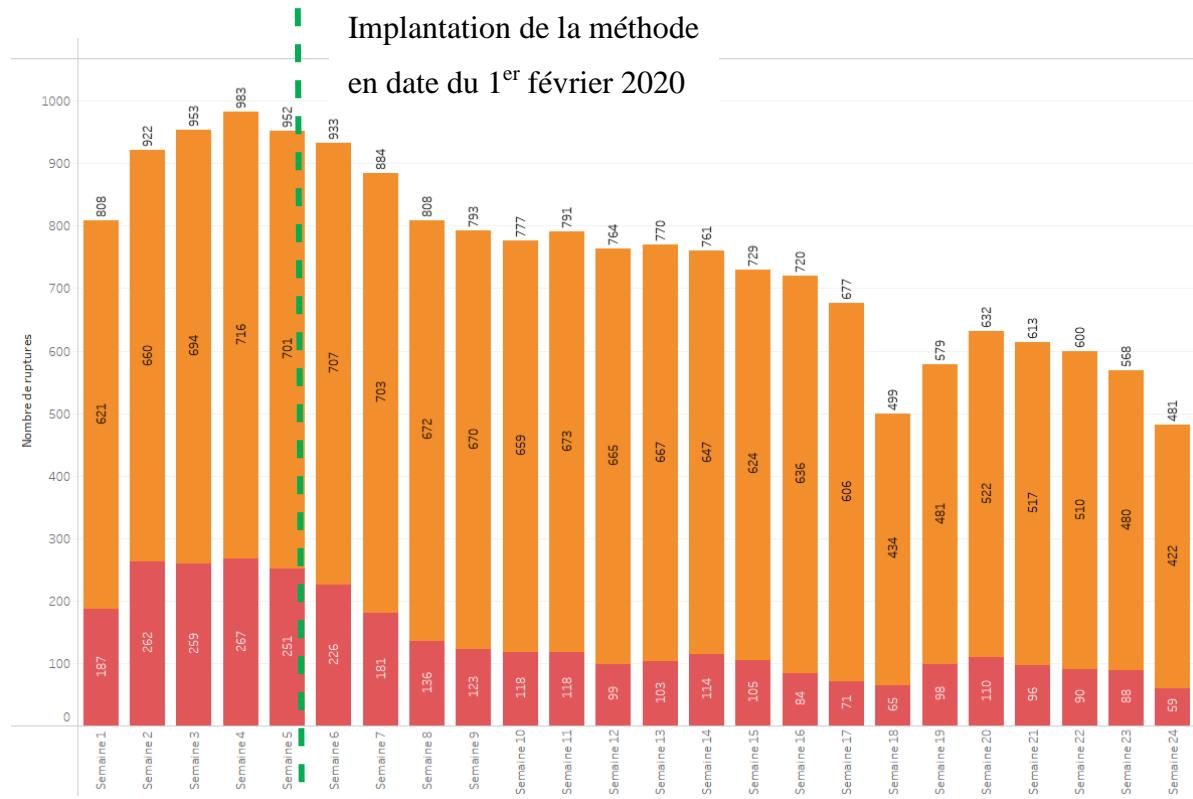


Figure 6.5 Évolution de la moyenne du compte des ruptures dans les rapports quotidiens dans la division autobus

Si la donnée disponible ne permet pas d'identifier toutes les causes racines, l'initiative a permis aux responsables de la chaîne d'approvisionnement de mettre en lumière les entités

logistiques problématiques, le besoin d'accroître le nombre de mesures au sein du processus d'approvisionnement et de nombreux comportements logistique dont ils n'avaient pas conscience. Enfin, la méthode proposée a enclenché le lancement d'autres projets d'industrie 4 chez le partenaire. Si l'entreprise était en retard sur l'utilisation de sa donnée par rapport à ses concurrents, elle a initié de nombreuses démarches pour se rattraper.

CHAPITRE 7 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Ce chapitre présente en premier lieu, les contributions pratiques et théoriques de notre projet de recherche. Enfin, les limitations et les opportunités de recherches futures pour donner suite à l'étude seront discutées.

Nous avons présenté dans cet article une méthode d'analyse de causes racines supportée par la donnée pour les chaînes d'approvisionnement. Les causes racines identifiées permettent de supporter la résolution de problèmes constatés dans les activités de distribution de la chaîne d'approvisionnement. Toutefois, les procédures correctives identifiées pour répondre à ces enjeux touchent les sous-systèmes de gestion de la demande et des fournisseurs. Pour répondre au premier objectif de recherche, nous avons présenté un modèle de procédure lors de la présentation de la méthode, des techniques et des résultats, des rôles et des responsabilités ainsi qu'un modèle d'information maintenu dans l'annexe C de cet article. Nous répondons donc à tous les critères d'évaluation d'une méthode selon Zellner (2011). Par application de la méthode proposée à un cas d'étude concret, nous avons montré comment la méthode peut prendre forme et quelles limitations scientifiques nous rencontrons lors de sa mise en place chez le partenaire.

La méthode proposée n'a été appliquée que dans le cas d'une entreprise qui gère des actifs roulant au sein d'une chaîne d'approvisionnement multi-échelon. La validation de la méthode pourrait être réalisée au sein d'autres chaînes d'approvisionnement peut-être moins complexes. Le partenaire industriel n'est là que pour illustrer la méthode et évaluer ses performances. Elle ne vient en aucun cas restreindre son domaine d'application.

Nous avons montré que plus l'arbre de causes racine est riche et complet, mieux il couvre l'ensemble des causes racines. Cependant, la richesse de l'arbre va accroître le volume de données nécessaire à l'analyse. Dans le cas où donnée est disponible, il faut la mettre à jour à chaque fois que l'on procède à une analyse de causes. Ce peut être très laborieux en fonction du volume de données concerné. Pour répondre à ces enjeux, le partenaire a lancé des initiatives de mesures des délais d'exécution de ses activités à l'interne ou la mise en place d'une solution d'analyse de données en libre-service sous Tableau Serveur pour faire en sorte que la donnée soit mise à jour de façon quotidienne sans mobiliser de ressource humaine pour des extractions de lots de données parfois très longues. Ces initiatives sont en cours et leurs bénéfices sont encore intangibles.

L’arbre de causes racines développé pour le partenaire n’est peut-être pas encore complet. Lorsque les analystes découvriront de nouvelles causes racines, elles les documenteront en expliquant où la donnée a été consultée pour mettre en évidence ces nouvelles causes, puis par mobilisation des experts, une procédure corrective sera implantée. L’arbre de causes racines est comme un organisme vivant qui s’adapte à son environnement. Il évolue de façon à coller à la réalité logistique de la chaîne d’approvisionnement où il est implanté.

L’initiative a été très reconnue chez le partenaire industriel. La proposition d’un outil d’analyse a certes apporté de la clarté dans le processus d’approvisionnement, mais aussi un confort d’analyse pour les analystes. Les outils Tableau sont simples d’utilisation et proposent une programmation en low-code. Cela a permis aux adopteurs précoce de très vite utiliser l’outil et à la majorité tardive de se sentir plus vite à l’aise lors de son opérationnalisation. Le fait de mobiliser beaucoup d’acteurs dans le développement de la méthode a fait naître de l’intérêt chez beaucoup de personnes. Un engouement s’est ressenti dans l’entreprise. Des secteurs autres que l’approvisionnement ont entendu parler des démarches en cours et ont exprimé leur intérêt pour une solution personnalisée à leur secteur. Si l’entreprise était en retard sur la maturité de son système d’information, elle a pu lancer de nouvelles initiatives pour se mettre à jour.

Les limites rencontrées sont majoritairement en rapport avec la maîtrise de la donnée maintenue dans le système d’information. Beaucoup d’information nécessaire à l’identification des causes racines n’est pas disponible chez le partenaire industriel. Nous avons dû corriger certains rapports maîtres chez le partenaire, combler des trous dans la donnée maître du logiciel et se renseigner seul sur la signification de certains des champs dans ces rapports. Ce constat a fait naître le besoin d’une gouvernance de la donnée chez le corps décisionnel de la STM.

Malgré les enjeux identifiés dans l’utilisation de la donnée pour supporter la prise de décision pour les chaînes d’approvisionnement, aucune méthode complète n’est proposée dans la littérature. Dans un souci de démocratiser l’exercice, nous avons proposé une méthode d’analyse de causes racines supportée par la donnée répliable et détaillée au travers un cas d’étude. Nous avons mis en évidence les problématiques de disponibilité et de rafraîchissement de la donnée lors de l’adoption de la méthode. Nous avons identifié des opportunités d’amélioration en proposant d’étudier la couverture des causes racines en phase de maturité. La proposition de cet article est évaluée au sein d’une chaîne d’approvisionnement multi-échelon pour une entreprise de transport urbain qui gère

des actifs roulants. Bien que cette étude ait certaines limitations, nous pensons qu'elle fournit une base solide pour des recherches futures en explorant l'impact sur les performances d'approvisionnement d'une méthode d'analyse de causes racines supportée par la donnée.

Dans un objectif de donner suite aux travaux réalisés pour ce travail de recherche, plusieurs pistes de recherche ont été identifiées. Si la donnée est rendue disponible pour l'identification de l'ensemble des causes, nous imaginons qu'un algorithme d'analyse de causes racines pourrait être développé pour exécuter les procédures correctives de façon autonome. Si l'algorithme n'arrive pas à identifier la cause racine, un analyste pourrait prendre la relève et conduire une investigation locale pour mettre à jour l'arbre de causes racines. En fonction du nombre de ruptures enregistrées, les analyses quotidiennes peuvent être très longues et mobiliser beaucoup de ressources. Automatiser les corrections pourrait être un bon moyen de répondre à cette limitation.

La méthode proposée adopte une stratégie réactive. Elle ne lance des analyses que lorsqu'un problème est observé. Les recherches futures pourraient s'intéresser à adapter la méthode proposée pour permettre de faire des analyses prédictives en fonction du profil évolutif de la demande observée chaque jour. Une méthode qui viserait à faire varier les valeurs des points de commandes de façon autonome en fonction de la demande quotidienne pourrait être une bonne façon de limiter les efforts de résolution de problèmes pour notre cas d'étude.

Une autre piste de recherche pourrait être de reproduire l'étude sur un cas d'étude plus mature en termes de maîtrise de la donnée. Évaluer les performances de la méthode dans un environnement où toute la donnée est rendue disponible en live ou de façon quotidienne permettrait de mieux adresser les bénéfices de la méthode. Une analyse de performance de la méthode en phase de maturité apporterait beaucoup à la littérature sur le domaine de l'analyse de causes racines supportée par la donnée pour les chaînes d'approvisionnement.

RÉFÉRENCES

ASQ Quality Press. (2021). *What is root cause analysis (RCA)?*. American Society for Quality. Tiré de <https://asq.org/quality-resources/root-cause-analysis> [consulté le 3 mars 2021].

Babu P. M.S., Sastry, H.S., (2014). *Big Data and Predictive Analytics in ERP Systems for Automating Decision Making Process*. 2014 IEEE 5th International Conference on Software Engineering and Service Science, 259-262. doi: 10.1109/ICSESS.2014.6933558

Bangari, P., Nangare, K.E., Al Mazrouei, K.H. (2019). *Improving equipment reliability and availability through real-time data*. Abu Dhabi International Petroleum Exhibition & Conference, [doi:10.2118/197347-MS](https://doi.org/10.2118/197347-MS)

Baryannis, G., Validi, S., Dani, S., Antoniou, G., (2018). Supply chain risk management and artificial intelligence: state of the art and future research directions. *International Journal of Production Research*, 57(7), 2179-2202, doi : 10.1080/00207543.2018.1530476

Bernard C. (1865). *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale*. Edition Garnier-Flammarion. doi:10.1522/cla.bec.int

Blessing, L. T. M., et Chakrabarti, A (2009). DRM, a design research methodology. London : Springer.

Blos, M. F., Marinho da Silva, R., Wee, H-M., (2018). A framework for designing supply chain disruptions management considering productive systems and carrier viewpoints, *International Journal of Production Research*, 56(15), 5045-5061. doi : 10.1080/00207543.2018.1442943

Burnia, I.J., Handayani, P.W., Satria, R., Azzahro, F. (2019). *Resolving ERP Issues in A Small Medium Company: A Case Of PT Mega Eltra*. 2019 International Conference on Information Management and Technology (ICIMTech). doi: 10.1109/ICIMTech.2019.8843737

Cappelletti, L. (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>.

Chabot, C., Stolte, C. P., Beers, A., & P.H. (2003). *Tableau Desktop* (2020.3.3) [Logiciel de visualisation de la donnée]. <https://www.tableau.com/products/desktop>

Chabot, C., Stolte, C. P., Beers, A., & P.H. (2003). *Tableau Prep Builder* (2020.3.3) [Logiciel de traitement de la donnée]. <https://www.tableau.com/products/desktop>

Demarne, M.B., Gramling, J., Verona, T., Cilimdzic, M. (2020). *Reliability Analytics for Cloud Based Distributed Databases*. Proceedings of the ACM SIGMOD International Conference on Management of Data (pp. 1479-1492). doi : 10.1145/3318464.3386130

Dumitrescu, O., Dumitrescu, M., Dobrotă, D. (2020). Performance Evaluation for a Sustainable Supply Chain Management System in the Automotive Industry Using Artificial Intelligence, *Processes 2020*, 8 (1384), doi : 10.3390/pr8111384

Eckert, C., Hughes, B. (2010). The Root of the cause. *The member magazine of the Institute of Industrial Engineers*, 42(2).

Engle, R.F. and Granger, C.W.J. (1987), “Co-integration and error correction: representation, estimation, and testing”, *Econometrica*, Vol. 55 No. 2, pp. 251-276.

Giannakis M., Louis M., (2011). A multi-agent based framework for supply chain risk management, *Journal of Purchasing & Supply Management*, 17(1), 23-31. doi: 10.1016/j.pursup.2010.05.001

Gouvernement du Canada (2019), *Transportation in Canada 2019*, tiré de <https://tc.gc.ca/en/corporate-services/transparency/corporate-management-reporting/transportation-canada-annual-reports/transportation-canada-2019>, [consulté le 10 mai 2021].

Handfield, R., Straube, F., Pfohl, H-C., Wieland, A., (2013). Trends and Strategies in Logistics and Supply Chain Management, *BVL International: The global Supply Chain Network*. ISBN: 978-87154-481-1

Härtel L., Nyhuis P., (2019). *Systematic Data Analysis in Production Controlling Systems to Increase Logistics Performance*. Communication présentée à WGP 2018: Advances in Production Research. doi: 10.1007/978-3-030-03451-1_1

Janeš, A., Faganel, A., (2013). Instruments and methods for the integration of company's strategic goals and key performance indicators, *Kybernetes*, 42(6), 928-942, doi : 10.1108/K-08-2012-0022

Lajoie, P., Gaudreault, J., Lehoux, N. & Ben Ali, M. (2019). *A data-driven framework to deal with intrinsic variability of industrial processes: an application in the textile industry*. Communication présentée à 9th IFAC Conference on Manufacturing Modelling, Management and Control, 52(13), 731-736. doi: [10.1016/j.ifacol.2019.11.202](https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.202)

Mezouar, H., El Afia, A., (2019). Proposal for an approach to evaluate continuity in service supply chains: case of the Moroccan electricity supply chain, *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 9(6), 5552-5559. doi : 10.11591/ijece.v9i6.pp5552-5559

Ministère de l'Économie et de l'Innovation. (2018). *Amélioration continue et résolution de problèmes*. Tiré de <https://www.economie.gouv.qc.ca/bibliotheques/outils/gestion-d'une-entreprise/production/amelioration-continue-et-resolution-de-problemes/> [consulté le 29 juin 2021].

Nnamdi, O., (2018). Strategies for managing excess and dead inventories: A case study of spare parts inventories in the elevator equipment industry, *Operations and Supply Chain Management An International Journal*, 11(3), 128-139. doi : [10.31387/oscsm0320209](https://doi.org/10.31387/oscsm0320209)

Piovesan, C., Kozman, J., Crow, C., Taylor, C., (2009). *An intelligent platform to manage offshore assets.* Communication présentée à SPE Annual Technical Conference and Exhibition, New Orléans, Louisiana, 4(1). doi : 10.2118/124514-MS

Presthus, W., Canales, C. A. (2015). Business intelligence dashboard design. A case study of a large logistics company. *Open Journal Systems*, 23(1).

Schmidt, M., Maier, J.T., Härtel, L., (2019). Data based root cause analysis for improving logistic key performance indicators of a company's internal supply chain, *Procedia CIRP*, 86, 276-281. doi : 10.1016/j.procir.2020.01.023

Settemsdal, S.O., (2019). *Highly scalable digitalization platform for oil and gas operations enables total asset visibility for predictive, condition-based fleet management across single and multiple sites.* Communication présentée à Abu Dhabi Petroleum Exhibition & Conference. doi : 10.2118/197820-MS

Statistiques Canada, 2020, *Transport de passagers par autobus et transport urbain, 2018*, Le Quotidien, tiré de <https://www150.statcan.gc.ca/n1/daily-quotidien/201002/dq201002d-fra.htm> [consulté le 3 mai 2021].

STM. (2020). *La STM en bref.* Tiré de <https://www.stm.info/fr/presse/ressources-medias-0/propos-de-la-stm> [consulté le 13 mars 2021].

Tufano, A., Accorsi, R., Gallo, A., Manzini, R., (2018). *Time and space efficiency in storage systems: a diagnostic framework.* XXIII Summer school « Francesco Turco » - Industrial Systems Engineering, 23, 362-368.

Vaez-Alaei, M., Z. A. N., Baboli, A., Tonadre, R. (2018). *Target stock level and fill rate optimization for worldwide spare parts inventory management: A case study in business aircraft industry.* 2018 IEEE International Conference on Technology Management, Operations and Decisions (ICTMOD). doi : 10.1109/ITMC.2018.8691215

Yin, R. K. (2009). Case Study Research: Design and Methods (4^e éd.). Thousand Oaks, États-Unis: Sage Publications. doi: [10.33524/cjar.v14i1.73](https://doi.org/10.33524/cjar.v14i1.73)

Zellner G. (2011). A structured evaluation of business process improvement approaches. *Business Process Management Journal*, 17(2), 203-237. doi : [10.1108/1463715111122329](https://doi.org/10.1108/1463715111122329)