جامعة سيدي محمد بن عبد الله بفاس
UNIVERSITÉ SIDI MOHAMED BEN ABDELLAH DE FES

كلية العلوم والتقنيات فاس
FACULTÉ DES SCIENCES ET TECHNIQUES DE FÈS

N° d'ordre : 100 / 2023

Centre des Etudes Doctorales : Sciences et Techniques et Sciences Médicales
Formation Doctorale : Sciences de l'Ingénieur, Sciences Physiques, Mathématiques et Informatique
Discipline : Techniques Industrielles
Spécialité* : Génie Industriel
Laboratoire : Technologies et Services Industriels

Thèse pour l'obtention de DOCTORAT

Management de la Transformation Digitale dans le Secteur de la Logistique et Supply Chain Management : vers un Entrepôt Intelligent et Durable

Préparée par : Mme. Asmae El Jaouhari

Soutenue le 09 Décembre 2023

Devant le jury :

Nom et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
Fouad JAWAB	PES	Ecole Supérieure de technologie de Fès	Président
Latifa EZZINE	PES	Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers de Meknès	Rapporteur & examinateur
Abdellah EL BARKANY	PES	Faculté des Sciences et Techniques de Fès	Rapporteur & examinateur
Imane BOUHADDOU	PH	Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers de Meknès	Rapporteur & examinateur
Abdelouhhab JABRI	PH	Faculté des Sciences et Techniques de Fès	Examinateur
Imane MOUFAD	PA	Ecole Supérieure de Technologie de Fès	Invitée
Jabir ARIF	PH	Ecole Supérieure de technologie de Fès	Directeur de thèse

Remerciements

La rédaction d'une thèse n'est pas un voyage ordinaire et nécessite un parcours atypique. Elle nous oblige à remettre en question nos cadres de référence temporels, met à l'épreuve notre capacité d'autoréflexion, nous ouvre de nouveaux horizons où il est facile de s'égarer et nous appelle à persévérer face aux résistances.

Je n'aurais pas pu arriver au bout de ce voyage sans l'accompagnement et l'aide du Professeur ***Jabir ARIF***, mon directeur de thèse. Je tiens à lui remercier vivement et sincèrement pour m'avoir accueillie au sein du laboratoire TSI, et d'avoir accepté de diriger ma thèse. Grâce à sa rigueur scientifique, sa grande disponibilité, et ses précieux conseils pendant ces trois années de thèse. Il m'a encouragée dans ce cheminement nouvel pour moi, dès notre premier rendez-vous, soutenue dans certains moments durs, laissé une grande liberté de travail tout en l'enrichissant de nos amples discussions. J'ai pour lui un respect infini et une immense appréciation.

Je tiens à exprimer mes plus vifs remerciements les plus sincères à mon mentor Dr. ***Ashutosh SAMADHIYA***, (Professeur à l'Université mondiale de Jindal), dont l'engagement et l'assistance ont été des facteurs incroyablement importants au cours de ma thèse. Avec un dévouement infatigable à tous les détails nécessaires depuis les premières étapes de planification jusqu'à la livraison de la thèse finale, vous avez été la force motrice qui m'a maintenu sur la bonne voie ; votre expérience et vos conseils ont fait de moi le chercheur que je suis aujourd'hui.

Je tiens à exprimer ma gratitude à Madame ***Fatiha REGRAGUI*** (chef de département à l'EST de Meknès), qui, grâce à sa générosité, sa bienveillance, et son implication totale m'a donné confiance et permis d'accomplir ce travail de thèse. Son dynamisme et son expérience m'ont encouragée à repousser mes limites et chercher à atteindre des objectifs ambitieux. Ces trois années de thèse m'ont révélé une personne à la fois bienveillante et brillante, et je la remercie de m'avoir donné la chance et l'opportunité de la côtoyer durant cette période. Celle-ci n'aurait jamais pu être aussi épanouissante sans sa gentillesse, son soutien, et son extraordinaire humanité.

Mes remerciements appuyés vont bien sûr à Monsieur ***Anil Kumar*** (Professeur à l'Université métropolitaine de Londres), mon mentor et co-auteur, pour m'avoir donné des conseils de valeur lorsque je me sentais perdu et pour m'avoir aidé à optimiser mes compétences de recherche grâce à ses précieux commentaires au cours de nos nombreuses collaborations.

A l'heure d'écrire ces pages, tant de personnes sont dignes que je leur adresse mes remerciements les plus honnêtes qu'il m'est impossible de toutes les mentionner au risque d'en faire un mémoire à part entière. Alors d'avance merci à tous ceux qui m'ont entouré et ont su m'apporter à la quotidienne énergie et soutien pour aller de l'avant dans ces travaux. Une pensée très amicale pour ma chère amie Asmae AITABDELKADER, elle a, par son aide attentionnée et aimante et sa vision positive d'un rivage à portée de vue, rendu ce voyage plus facile.

Enfin, j'exprime ma profonde gratitude à mes parents qui m'ont appris l'amour, le respect, et le sacrifice, et qui m'ont indirectement incité à suivre cette voie en m'inculquant une attitude positive à l'égard de l'éducation et de la formation tout au long de la vie. Merci d'avoir compris la nécessité de réaliser mon rêve. C'est à vous deux que je dédie cette thèse de doctorat. À mon frère Anas qui a toujours cru en moi et me soutient de tous son cœur. À mes merveilleuses petites sœurs, pour avoir été mon incroyable système de soutien. Je vous remercie du fond du cœur !

Résumé

Les transformations digitales telles que l'Industrie 4.0 suscitent actuellement un grand intérêt dans les milieux universitaires et industriels. Ces concepts devraient stimuler les facteurs de performance de la supply chain tels que la fiabilité et l'efficacité. Les implications de la transformation digitale ont transformé le management de la supply chain et ont créé des économies de création de valeur au cours de la dernière décennie. Un dynamisme dans les lignes de la supply chain facilite l'intégration de la transformation digitale dans les entrepôts et la logistique. L'adoption des nouvelles technologies dans une perspective de la durabilité sont devenue une tendance importante et une solution essentielle pour ouvrir la voie à l'avenir des supply chains et de la logistique. C'est aussi parce qu'une stratégie réussie et efficace de la supply chain nécessite l'utilisation de la technologie, ainsi que la valeur stratégique dérivée du triple résultat de la durabilité (économique, sociale et environnementale), ce qui va permettre aux entreprises de reconnaître les possibilités et les défis découlant des progrès technologiques afin d'atteindre la compétitivité à long terme. L'industrie met en œuvre ces technologies avec prudence afin de fournir une supply chain plus rapide, moins coûteuse, plus fiable et à long terme. Cependant, ce changement de paradigme mène les entreprises de la supply chain à revoir leurs stratégies et à éventuellement vérifier si leur stratégie digitale doit être reconsidérée ou adaptée à l'aune des opportunités offertes par les aspects de la durabilité.

Afin de répondre à ces enjeux, l'objectif de ce travail de recherche mené dans le cadre de cette thèse vise à identifier les facteurs clés pour la mise en œuvre de la transformation digitale qui conduisent la durabilité de la supply chain, préciser les relations entre la transformation digitale et les aspects principales de la durabilité, et analyser qualitativement et quantitativement l'efficience et l'efficacité du modèle intégrant le concept de la transformation digitale et du management durable de la supply chain, ainsi la résilience des modèles proposés de la gestion d'entrepôt constituant la colonne vertébrale de l'efficience de la supply chain.

Une revue de littérature a permis tout d'abord de mettre en évidence les liens entre les principaux aspects de la transformation digitale - les technologies de l'industrie 4.0 - et les principes du management lean de la supply chain (MLSC), avec un accent particulier sur la façon dont certaines technologies de l'Industrie 4.0 améliorent le MLSC, en fonction des niveaux de capacité des technologies. Une étude Delphi a été menée auprès d'un panel représentatif de 37 experts pour donner aux praticiens et universitaires une meilleure compréhension de la façon d'intégrer la technologie de l'Internet des Objets (IdO) dans une supply chain durable. Ensuite, un modèle de théorie des ensembles flous basé sur l'IdO a été développé pour évaluer la performance de la gestion écologique d'un entrepôt (GEE) dans le but d'améliorer l'efficacité et la résilience de la supply chain. Dans le même sens, un modèle de gestion circulaire d'un entrepôt (GCE) basé sur l'intelligence artificielle des objets (IAdO) a été proposé. Le modèle vise à améliorer la recherche actuelle sur la transformation digitale en fournissant une preuve réelle de la façon dont la technologie de l'IAdO et l'économie circulaire sont utilisées dans la pratique.

Dans ce contexte, la thèse fournit une caractérisation originale des impacts de la transformation digitale sur la performance du management de la supply chain dans le cadre des principes de la durabilité. D'un point de vue pratique, les modèles proposés peuvent aider le top management et décideurs à établir une feuille de route de déploiement de la transformation

digitale et les principaux aspects de la durabilité autour de l'amélioration des opérations cruciales de la supply chain, en l'occurrence la gestion de l'entrepôt par l'utilisation des nouvelles technologies. En outre, les décideurs peuvent s'appuyer sur ces modèles pour cibler le type d'autonomie qu'ils désirent voir dans les équipes opérationnelles. L'objectif est d'améliorer la réactivité de la supply chain face aux problèmes et incertitudes, et d'anticiper les opportunités rencontrées sur le terrain. Cette étude offre également une première vision, des perspectives, des attentes et des risques associés à la mise en place de nouveaux modes de prise de décision et d'e-autonomie (autonomie électronique) soutenus par la fusion de la transformation digitale et de la durabilité.

Mots-clés : Transformation digitale, Management de la supply chain, Logistique, Gestion des stocks d'entrepôt, Industrie 4.0, Durabilité, Economie circulaire

Abstract

Digital transformations such as Industry 4.0 are currently highly interesting in academia and among business leaders. These concepts are supposed to improve supply chain performance factors such as reliability and efficiency. The implications of digital transformation have transformed supply chain management and generated economies of value creation during the last decade. A dynamism in the supply chain lines makes it easier to incorporate digital transformation in warehouses and logistics. New technologies adoption in a sustainability perspective have emerged as significant trend and critical solution to lead the way for the future of supply chains and logistics. This is also because an efficient and a successful supply chain strategy requires the use of technology, as well as the strategic value derived from the triple bottom line of sustainability (economic, social, and environmental). This in turn helps businesses to perceive opportunities and challenges resulting from technological innovation to attain long-term competitiveness. The industry is cautiously deploying these technologies to provide a cheaper, faster, more dependable, and long-term supply chain. However, this paradigm shift is leading supply chain organizations to review their strategies and possibly hether their digital strategy should besystem or reconsidered in light of the possibilities offered by the aspects of sustainability.

To address these issues, the objective of this research work carried out within the context of this thesis is to identify the key factors for the implementation of digital transformation that drive supply chain sustainability, to clarify the relationships between digital transformation and the main aspects of sustainability, and to qualitatively and quantitatively analyze the efficiency and effectiveness of the models integrating the concept of digital transformation and sustainable supply chain management, as well as the resilience of the proposed models of warehouse management constituting the backbone of supply chain efficiency..

A literature review first highlighted the links between critical aspects of digital transformation-Industrytechnologies ands-and the principles of lean supply chain management (LSCM), with a particular focus on how certain I4.0 technologies enhance LSCM, based on technology capability levels. A Delphi study was conducted with a representative panel of 37 experts to give practitioners a better understanding of how to integrate IoT technology into a sustainable supply chain. Next, an IoT-based fuzzy set theory model was developed to evaluate the inventory management performance of a green warehouse with the aim of improving supply chain efficiency and resilience. In the same direction, an artificial intelligence of things (AIoT)-based circular warehouse management (CWM) model was proposed. The model aims to enhance the current research on digital transformation by providing real-world evidence of how AIoT technology and the circular economy are used in practice.

In this context, the thesis provides an original characterization of the impacts of digital transformation on supply chain management performance within the framework of sustainability principles. From a practical perspective, the proposed models can help manufacturers establish a roadmap for the deployment of digital transformation and the key aspects of sustainability around the improvement of critical supply chain operations, in this case, warehouse inventory management through the use of new technologies. Furthermore, Decision-makers can use this model to target the type of autonomy they want operational teams to have. The objective is to improve the supply chain's responsiveness to the problems and

opportunities encountered in the field. This study also offers a first view of the perspectives, expectations, and risks associated with the implementation of new decision-making and e-autonomy modes supported by the merger of digital transformation and sustainability.

Keywords: Digital transformation, Supply chain management, Logistics, Warehouse inventory management, Industry 4.0, Sustainability, Circular economy

Table des matières

Remerciements *2*
Résumé *3*
Abstract *5*
Table des matières *7*
Liste des figures & illustrations *10*
Liste des tableaux *11*
Liste des abréviations et des sigles *12*
Avant-propos *14*
Notes sur le formatage et la langue de cette thèse *18*
Introduction générale *19*
Contexte de la thèse *19*
Problématique de la thèse *20*
Questions et objectifs escomptés de la recherche *21*
Structure de la thèse *21*
Chapitre 1. Etat de l'art : Contribution de la transformation digitale à la performance du management de la supply chain et la logistique *24*
1.1 Introduction 25
1.2 Contexte théorique 27
1.2.1 Transformation digitale 27
1.2.2 Industrie 4.0 28
1.2.3 Management de la Supply Chain 31
1.2.4 Management Lean de la Supply Chain 33
1.2.5 Management de la supply chain et adoption de la transformation digitale 35
1.3 Méthodologie d'élaboration de l'état de l'art 38
1.3.1 Élaboration de la question de recherche de l'état de l'art 38
1.3.2 Identification des études relative à la question de recherche 39
1.3.3 Sélection et évaluation des études pertinentes 40
1.3.4 Analyse et synthèse des résultats 41
1.3.5 Présentation et utilisation des résultats 42
1.4 Analyse et synthèse 42
1.4.1 Distribution et statistiques 42
1.4.2 Analyse qualitative de la littérature 44
1.4.3 Technologies de l'I4.0 utilisées dans l'état de l'art 51
1.4.4 Résultats de l'analyse et synthèse 54
1.5 Discussion et orientations de la recherche 55

1.5.1 Discussion 55
1.5.2 Implications 60
1.5.3 Limitations 61
1.5.4 Ecarts et orientations futures de la recherche 61
1.6 Conclusion 63
Chapitre 2. Élaboration d'un modèle de perspective durable en intégrant l'internet des objets dans le management de la supply chain automobile *.....65*
2.1 Introduction 66
2.2 Revue de littérature 69
2.2.1 Supply chain automobile 69
2.2.2 Technologies de l'IdO 70
2.2.3 Digitalisation de la supply chain automobile 72
2.2.4 Méthodes utilisées pour la mise en relation entre l'industrie 4.0 et le supply chain automobile 73
2.2.5 Résultats de la revue de littérature 74
2.3 Méthodologie de la recherche utilisée dans le cadre de l'étude 74
2.3.1 Etude Delphi 74
2.3.2 Modèle ReSOLVE 77
2.3.3 Cadre conceptuel de recherche 79
2.4 Validation du cadre 80
2.4.1 Étude Delphi (Ronde 1) 81
2.4.2 Étude Delphi (ronde 2) 81
2.5 Discussion 86
2.6 Conclusion 87
Chapitre 3. Élaboration d'un système de gestion écologique et intelligente d'entrepôts des pièces automobiles *.....90*
3.1 Introduction 91
3.2 Contexte théorique 92
3.2.1 Gestion écologique des stocks d'entrepôt 92
3.2.2 L'IdO dans le système de la GESE 97
3.2.3 Ensembles flous : concepts de base 100
3.3 Méthodologie de la recherche 100
3.3.1 Détermination de la fonction d'appartenance 102
3.3.2 Identification des règles floues 104
3.3.3 Défuzzification 105
3.4 Étude de cas : Evaluation de l'application de l'IdO dans la GESE 106
3.5 Discussion 108
3.6 Conclusion 110

Chapitre 4. Développement d'un modèle de gestion circulaire d'entrepôts des pièces automobiles dans le cadre de l'intelligence artificielle des objets *113*

4.1 Introduction 114

4.2 Contexte théorique 115

4.3 Cadre conceptuel de l'IAdO pour le système de gestion circulaire d'entrepôt 119

4.4 Etude de cas : Analyse du SGCE à l'aide de la technique orientée objet 121

4.4.1 Cartes de collaborateur de responsabilité de classe 126

4.4.2 Moteur de traitement pour le SGE 129

4.5 Discussions 132

4.6 Conclusions 134

Conclusions et perspectives *135*

Apports managériaux *137*

Apports pratiques *139*

Apports Méthodologiques *141*

Limites de la recherche *142*

Perspectives envisagées *143*

Références bibliographiques *145*

Annexe 1 ..... *178*

Annexe 2 ..... *182*

Liste des figures & illustrations

Figure 1: Synoptique du manuscrit de thèse. 23
Figure 2: Illustration de l'évolution de la digitalisation industrielle. 29
Figure 3: Exemple du MSC. 32
Figure 4: Activités Clés du MSC. 33
Figure 5: Cadre conceptuel du management lean de la supply chain. 35
Figure 6: Schéma pour le développement du management digital de la supply chain. 37
Figure 7: Cadre décomposé pour la digitalisation du management de la supply chain. 37
Figure 8: Les étapes de la revue systématique de littérature. 38
Figure 9: Concepts clés dans la RLS de la corrélation entre le MLSC et l'I4.0. 40
Figure 10: Répartition des différents articles dans les champs du MLSC. 43
Figure 11: Répartition de la recherche sur le LSCM et l'I4.0 tout au long de la période d'étude. ..43
Figure 12: Vue d'ensemble de la corrélation entre les chapitres 1 et 2. 64
Figure 13: Supply chain automobile exemplaire. 69
Figure 14: Méthodologie de recherche. 76
Figure 15: Cadre proposé de la mise en œuvre de l'IdO - SCA durable. 80
Figure 16: Cadre final de la mise en œuvre de l'IdOgese - SCA durable. 87
Figure 17: Vue d'ensemble de la corrélation entre les chapitres 2 et 3. 89
Figure 18: Diagramme des caractéristiques du système de gestion des stocks d'un entrepôt. 96
Figure 19: Diagramme des caractéristiques de l'Internet des objets. 97
Figure 20: Schéma de fonctionnement du SIF proposé. 101
Figure 21: Schéma général du modèle proposé. 102
Figure 22: Fonction d'appartenance pour la performance de la GESE du CLFT1. 103
Figure 23: Visualiseur de règles du SIF proposé pour le CLFT1. 106
Figure 24: Zone de sortie du SIF pour l'étude de cas. 109
Figure 25: Vue d'ensemble de la corrélation entre les chapitres 3 et 4. 112
Figure 26: Composants d'un système de gestion circulaire d'entrepôt. 119
Figure 27: Cadre conceptuel pour la GCE de pièces automobiles habilité par l'IAdO. 121
Figure 28: Diagramme des cas d'utilisation du système de gestion d'entrepôt de l'entreprise TBC. 122
Figure 29: Diagramme de classe du système de gestion d'entrepôt de l'entreprise TBC. 128
Figure 30: Diagramme d'activité du système de gestion d'entrepôt de l'entreprise TBC. 129
Figure 31: L'interface de l'application mobile pour le processus de réception. 130
Figure 32: Diagramme de séquence du SGE de TBC. 131
Figure 33: Le cadre propose de la mise en œuvre de l'IdO - SCA durable. 181
Figure 34: Le cadre du SIF de Mamdani. 184

Liste des tableaux

Tableau 1: Synthèse des publications scientifiques. 14
Tableau 2: Proceeding : travaux publiés dans les actes de congrès. 15
Tableau 3: Synthèse des communications scientifiques. 16
Tableau 4: Description des technologies de l'industrie 4.0. 29
Tableau 5: Les étapes de sélection des articles pour cette étude. 41
Tableau 6: Classification de la littérature par journale. 43
Tableau 7: Classification de la littérature par domaine d'étude. 45
Tableau 8: La catégorisation des technologies de l'I4.0 en fonction des domaines. 52
Tableau 9: La fréquence totale des technologies de l'I4.0 utilisées. 53
Tableau 10: Distribution des résultats. 54
Tableau 11: Les experts ayant participé à l'étude Delphi (rondes 1 et 2). 77
Tableau 12: Matrice relationnelle illustrant la complexité de la liaison entre l'IdO et la SCA. 78
Tableau 13: Réponses des experts à l'étude Delphi (Ronde 1). 82
Tableau 14: Réponses des experts à l'étude Delphi (Ronde 2). 84
Tableau 15: Les fonctions clés d'un système de gestion écologique des stocks d'un entrepôt. 93
Tableau 16: Les principaux avantages de l'IdO. 98
Tableau 17: Entrées intuitives pour les termes linguistiques flous de la première phase. 102
Tableau 18: Sorties intuitives pour les termes linguistiques flous de la première phase. 103
Tableau 19: Termes linguistiques pour la performance de la GGSE. 104
Tableau 20: Règles d'inférence du SIF 6 du CLFT1. 104
Tableau 21: Nombre de règles du CLFT1. 105
Tableau 22: Valeurs de performance du BBT en fonction des critères de la GESE. 107
Tableau 23: Résultats de la première phase. 108
Tableau 24: Performance de la GESE du BBT. 108
Tableau 25: Description du diagramme des cas d'utilisation. 123
Tableau 26: CRC du système de gestion d'entrepôt. 128
Tableau 27: Rectifications des intervenants et facteurs connexes. 178

Liste des abréviations et des sigles

TD	Transformation Digitale
SC	Supply Chain
MSC	Management de la Supply Chain
MLSC	Management Lean de la Supply Chain
IdO	Internet des Objets (Internet of Things)
GEE	Gestion Ecologique d'un Entrepôt
GCE	Gestion Circulaire d'un Entrepôt
IAdO	Intelligence Artificielle des Objets
I4.0	Industrie 4.0
CC	Cloud Computing
AI	Intelligence Artificielle
BD	Big Data
SCD	Supply Chain Digitale
SCP	Système Cyber-Physique (Cyber-Physical Systems)
SCI	Supply Chain Intelligente
RA	Réalité Augmentée (Augmented Reality)
FA	Fabrication additive (Additive Manufacturing)
MDSC	Management Durable de la Supply Chain
SCA	Supply Chain Automobile
ReSOLVE	Regénérer, Partager, Optimiser, Boucler, Virtualiser, Echanger *(ReSOLVE en anglais pour Regenrate, Share, Optimise, Loop, Virtualise, and Exchange)*
SIF	Système d'Inférence Flou
EC	Economie Circulaire
JAT	Just à Temps
TI	Technologies de l'information
RV	Réalité Virtuelle
IDRF	Identification par Radiofréquence (RFID en anglais pour *Radio Frequency IDentification*)

BC	Blockchain
AA	Apprentissage Automatique (*Machine learning*)
UI	Usine Intelligente (*Smart Factory*)
IdS	Internet des Services (*Internet of Services*)
CS	Cybersécurité
CCV	La cartographie de la chaîne de valeur (*Value Stream Mapping -VSM*)
MDSC	Management Digital de la Supply Chain
IIdO	Internet Industriel des Objets
TIC	Technologies de l'Information et de la Communication
ICP	Indicateurs Clés de Performance (*Key Performance Indicator (KPI))*
PRE	Planification des Ressources de l'Entreprise (*Entreprise Ressource Planning (ERP)*)
RSL	Revue Systématique de la Littérature (*Systematic Literature Review (SLR)*)
SCAD	Supply Chain Automobile Durable
MDISC	Management Durable et Intelligente de la Supply Chain
SGEIE	Système de Gestion Ecologique et Intelligente d'un Entrepôt
VGA	Véhicule Guidé Automatique (*Automatic Guided Vehicle*)
CLFT1	Contrôleur Logique Flou de Type 1
TLI	Triple Ligne Inférieure (*Triple Bottom Line*)
SGCE	Système de Gestion Circulaire d'Entrepôt
SCC	Supply Chain Circulaire
LMU	Langage de Modélisation Unifié
HAP	Heure d'Arrivée Prévue

Avant-propos

Ce travail s'inscrit dans le cadre d'une thèse de Doctorat National préparée à l'Université Sidi Mohamed Ben Abdellah de Fès au sein du Laboratoire "**T**echnologies et **S**ervices **I**ndustriels" - **(TSI)** à l'Ecole Supérieure de Technologie de Fès (EST) et rattachés au Centre des Etudes Doctorales (CED) – spécialité Sciences de l'Ingénieur, Sciences Physiques, Mathématiques et Informatique- à la Faculté des Sciences et Techniques de Fès (FSTF) sous le thème «Management de la transformation digitale dans le secteur de la supply chain management et la logistique». Cette thèse a été encadrée par Monsieur Jabir ARIF, professeur à l'Ecole Supérieure de Technologie de Fès.

Les résultats obtenus durant cette thèse ont fait l'objet de plusieurs conférences et publications au sein des revues scientifiques indexées comme synthétisé dans les tableaux 1, 2 et 3.

Tableau 1: Synthèse des publications scientifiques.

N°	Intitulé	Journal	Indexation/Quartile du journale
1	Lean Supply Chain Management and Industry 4.0 Interrelationships: The Status Quo and Future Perspectives	International journal of lean six sigma (**IJLSS**)	Scopus (Q1)
2	Demand Forecasting Application with Regression and IoT based Inventory Management System: A Case study of a Semiconductor Manufacturing Company	International Journal of Engineering Research in Africa (**JERA**)	Scopus (Q3)
3	Industry 4.0 implementation in lean supply chain management: a systematic literature review	Statistics, Optimization and Information Computing (**SOIC**)	Scopus (Q3)
4	Scrutinizing IoT Applicability in Green Warehouse Inventory Management System based on Mamdani Fuzzy Inference System: A Case study of an Automotive Semiconductors Industrial Firm	Journal of Industrial and Production Engineering (**JIPE**)	Scopus (Q2)
5	Artificial intelligence of things and circular warehouse process management of automotive parts: Conceptual framework and practice review	International Journal of Process Management and Benchmarking (**IJPMB**)	Scopus (Q3)
6	Are metaverse applications in quality 4.0 enabler of manufacturing resiliency? An exploratory review	Total Quality Management Journal (**TQM**)	Scopus (Q1)

	under disruption impressions and future research		
7	Adopting Industry 4.0 data framework in a circular supply chain: automotive case	International Journal of Manufacturing Technology and Management **(IJMTM)**	Scopus (Q2)
8	Net Zero Supply Chain Performance and Industry 4.0 Technologies: Past Review and Present Introspective Analysis for Future Research Directions	Heliyon	Scopus (Q1)
9	An Environmental-Based Perspective Framework: Integrating IoT Technology into a Sustainable Automotive Supply Chain	Benchmarking: An International Journal	Scopus (Q2)
10	From Automation to Augmentation: Exploring the Role of Industry 5.0 Advanced Technologies for Developing Countries	Engineering Management Journal (**EMJ**)	Scopus (Q2)
11	Are we there or do we have more to do? Metaverse in facility management and future prospects	Journal of Strategic Property Management (**JSPM**)	Scopus (Q2)
12	Exploring the application of ICTs in decarbonizing the agriculture supply chain A literature review and research agenda	Heliyon	Scopus (Q1)

Tableau 2: Proceeding : travaux publiés dans les actes de congrès.

N°	**Titre du travail**	**Pagination (pp.)**	**Manifestation**
1	The use of Artificial Intelligence and Blockchain in healthcare applications: Introduction for beginning researchers	986–997 **Scopus**	**Lieu :** Fès - Maroc
			Nom : The International Conference on Digital Technologies and Applications **"ICDTA'23"**
			Date: 27-28 Janvier 2023
2	From city logistics to a merger of smart cities and smart logistics	1-5 **Scopus IEEE**	**Lieu :** EL JADIDA - Maroc
			Nom : Colloque International de la Logistique et le Supply Chain Management **"LOGISTIQUA 2022"**
			Date: 25-27 Mai 2022

3	Production flow management based on industry 4.0 technologies	1-7 **Scopus** **IEEE**	**Lieu :** EL JADIDA - Maroc **Nom :** Colloque International de la Logistique et le Supply Chain Management **"LOGISTIQUA 2022"** **Date:** 25-27 Mai 2022
4	IoT for the future of sustainable supply chain management in Industry 4.0: A Systematic Literature Review	1-6 **Scopus** **IEEE**	**Lieu :** EL JADIDA - Maroc **Nom :** Colloque International de la Logistique et le Supply Chain Management **"LOGISTIQUA 2022"** **Date:** 25-27 Mai 2022
5	Process innovation via IoT technology, lean practice and green supply chains	**Scopus**	**Lieu :** Istanbul- Turkey **Nom:** The Second Edition of Moroccan Association of Applied Sciences and Innovation (MAASI) Scientific Week **(SW22)** **Date:** 21-31 Mai 2022

Tableau 3: Synthèse des communications scientifiques.

N°	Intitulé	Evénement	Date	Université/ Etablissement
1	Towards a new green warehouse inventory management system using Blockchain	International Conference on Emerging Environmental Issues and Challenges **"ICEEIC"**	11-12 Février 2022	Unité NSS du Shillong Law College, MEGHALAYA, Inde Université de Phuket Rajabhat, Phuket - Thaïlande
2	Blockchain: Best Road to sustain the supply chain management in the age of industry 4.0	Journées Doctorales Multidisciplinaires **"JDM'22"**	29-30 Janvier 2022	Université Ibn Tofail-Kenitra / Ecole Nationale des Sciences Appliquées
3	Improving Warehouse inventory management system through virtual reality technology: A semiconductor industry case study	Journée de Recherche Inter-Laboratoires 2021 **"JRIL'21"**	30 Décembre 2021	Université Sidi Mohamed Ben Abdellah FES / Ecole Supérieure de Technologie (EST)

4	Industry 4.0 tools in the context of logistics 4.0: A case study of Amazon logistics system	International Congress of Engineering and Complex Systems **"ICECS 2021"**	26-28 Octobre 2021	Université Sidi Mohamed Ben Abdellah FES / Ecole Nationale des Sciences Appliquées
5	Industry 4.0 implementation in lean supply chain management: A systematic literature review	International Congress of Engineering and Complex Systems **"ICECS 2021"**	26-28 Octobre 2021	Université Sidi Mohamed Ben Abdellah FES / Ecole Nationale des Sciences Appliquées
6	The smart logistics impact on lean manufacturing	International Congress of Engineering and Complex Systems **"ICECS 2021"**	26-28 Octobre 2021	Université Sidi Mohamed Ben Abdellah FES / Ecole Nationale des Sciences Appliquées
7	The use of Industry 4.0 tools in the supply chain management context	First International Conference in Mechanical Industrial Energy Systems and Automotive Technology **"ICMIESAT2021"**	25-26 Juin 2021	Université Mohammed Premier OUJDA / Ecole Supérieure de Technologie (EST)

Notes sur le formatage et la langue de cette thèse

Cette thèse a été rédigée en français, mais la recherche sur les supply chains et logistique et la transformation digitale est largement menée à l'échelle internationale, la majorité des sources citées dans cette thèse sont en anglais, et de nombreux concepts qui sont liés ont été articulés pour la première fois en anglais.

Dans le but de faciliter la lecture, notamment pour les professionnels et chercheurs de ces sujets, certains mots sont donc, intentionnellement, restés en langue anglaise, puisque communément utilisés comme tels dans la littérature scientifique et en entreprise.

Introduction générale

Contexte de la thèse

Au cours des dernières années, la transformation digitale (TD) s'impose comme un phénomène incontournable touchant à la fois les sphères publiques et privées. Elle a attiré l'intérêt de nombreux praticiens et chercheurs en raison de son caractère dynamique, de son impact sur les entreprises et la société, de sa complexité et de la diversité de ses outils technologiques (Kosior, 2018; Xue et al., 2022). Le caractère dynamique se manifeste par son aspect évolutif de ce phénomène de la transformation par les technologies de l'information. Celui-ci ne doit donc être perçu comme « un panorama d'états caractérisés par des différences de plus en plus radicales. » (Pan et al., 2021). En effet, l'impact de la TD se fait au travers des profonds changements que le phénomène opère tant dans la société (comportements, habitudes, vie privée, sécurité, etc.) que dans l'entreprise (business plan, stratégies industrielles, etc.) et entre l'entreprise et son écosystème (fournisseurs, clients organisationnels, potentiels et finaux, pouvoirs publics, prestataires de services, etc.). La complexité, quant à elle, fait référence à la difficulté à changer radicalement les différents éléments de la structure d'une entreprise (Abdul-Hamid et al., 2020). Cette complexité s'est encore accentuée suite à l'avènement des réseaux sociaux et de nombreuses technologies digitales émergentes dites de l'industrie 4.0 telles que l'internet des Objets (IoT en anglais pour *Internet of Things*), le *Cloud Computing*, la *blockchain*, l'intelligence artificielle (*Atificial Intelligence*), le *Big Data*, ou encore les jumeaux numériques (*digital twins*). L'intégration de ces technologies dans les organisations, appelée communément digitalisation, entraîne des changements dont l'impact sur les supply chains reste encore à explorer (A.S. and Ramanathan, 2021; Kosior, 2018).

Dans la supply chain (SC), la TD concerne aussi bien les opérations et processus logistiques de l'organisation que ceux partagés avec les partenaires en amont et en aval. On parle désormais de la supply chain digitale (SCD) ou bien supply chain intelligente (SCI) (Chiappetta Jabbour et al., 2020), qui peut être définit comme un processus dans lequel les technologies de l'information et de communication sont utilisées pour créer de la valeur tout en gérant les changements organisationnels qui affectent les activités et processus logistiques dans et entre les organisations. Les SCs sont devenues de plus en plus complexes et dynamiques et s'exposent à de multiples perturbations et risques. A l'ère de l'industrie 4.0 et de la TD, les technologies émergentes, appelées aussi technologies de rupture, entraînent un nouveau paradigme dans le management des supply chains (MSCs). Ces technologies s'imposent comme une solution majeure pour surmonter les défis des SCs et permettent à ces dernières d'évoluer vers des SCI. La notion de la SCI est un nouveau concept qui dépasse les caractéristiques classiques (vendre moins cher, plus vite, en assurant une bonne qualité) et tente de pousser la SC à faire face aux nombreux challenges liés notamment à la complexité, l'incertitude et la vulnérabilité de l'environnement des entreprises. Selon (Fernando et al., 2023), la TD soutenue par les technologies émergentes est un moyen efficace pour atténuer les risques opérationnels et les perturbations liées aux événements imprévus. Elle permet de synchroniser la production, de prévenir la distorsion de l'information et de réduire les délais de livraison (Abdul-Hamid et al., 2020). Elle représente un outil efficace pour piloter les flux physiques depuis les lieux de production jusqu'aux points de consommation (Almada-Lobo,

2015). La TD a un impact positif considérable sur les processus de la SC (A.S. and Ramanathan, 2021).

Il y a un dynamisme dans la SC qui facilite l'intégration de l'industrie 4.0 dans les entrepôts et la logistique, grâce à la compétitivité mondiale accrue de l'entreprise dans l'IdO, les systèmes cyber-physiques (SCP), la réalité augmentée (RA), l'intelligence artificielle (IA), la technologie du Blockchain, le big data, les robots autopilotés et la fabrication additive qui font tous partie du concept de la TD (Abdelouahid et al., 2021; Allam and Dhunny, 2019; Arunmozhi et al., 2022). Cette nouvelle transformation aidée les managers à prendre les bonnes décisions en surveillant le suivi en temps réel des matériaux dans la gestion des entrepôts (Basile et al., 2019). Il est essentiel pour les parties prenantes tout en considérant l'ensemble de la supply chain, d'être en mesure de fournir les informations appropriées sur l'identification du produit, l'emplacement et d'autres informations de suivi à chaque niveau de la SC (Pan et al., 2021).

Problématique de la thèse

Pour que les entreprises deviennent plus respectueuses de l'environnement, les technologies digitales peuvent faciliter la surveillance et le suivi de la surproduction, des stock d'entrepôt, de la consommation d'énergie et des déchets (Kumar et al., 2020). Ces technologies éliminent l'ambiguïté de toutes les procédures de la SC (A.S. and Ramanathan, 2021; Pan et al., 2021), et diminuent le danger d'erreur humaine en les automatisant. Par conséquent, la TD améliore la performance environnementale de l'entreprise en augmentant l'efficacité de la fabrication, en diminuant la consommation d'énergie et en éliminant l'incertitude et les déchets. En outre, dans les deux cas, opportunités de croissance à long terme et défis de contrôle des coûts de fabrication, la TD - l'industrie 4.0 - améliore également la gestion des ressources, ce qui est avantageux pour l'environnement. Les experts en développement durable identifient l'importance de la TD pour lutter contre les défis environnementaux. Nous pensons que l'industrie 4.0 aura des répercussions considérables sur la durabilité, même si le concept n'en est encore qu'à ses débuts. Les effets économiques et environnementaux de la SCD ont également été étudiés. Cependant, nous savons peu de choses sur les effets à long terme de la TD sur l'environnement et l'économie. Des recherches empiriques limitées ont été menées auparavant pour examiner les implications de la TD sur la durabilité. Des recherches antérieures (Bai et al., 2020; Belaud et al., 2019), ont indiqué que l'Industrie 4.0 influence la durabilité; cependant, elles n'ont pas élucidé comment cet impact se développe. Selon des recherches préalable (Belaud et al., 2019; Yadav et al., 2020a), les processus associés au management durable de la supply chain (MDSC) n'ont pas encore été liés à la TD et aux normes de performance liées à la durabilité.

Indépendamment de la performance remarquable réalisée, les organisations des supply chains d'aujourd'hui présentent des limites intrinsèques et sont de plus en plus pris en défauts par les nouveaux défis de la TD. La TD n'est plus un choix pour les industriels dans l'environnement commercial dynamique d'aujourd'hui et constitue plutôt un impératif de survie. Les trois précédentes révolutions industrielles ont permis une amélioration significative de la productivité des entreprises. Les révolutions industrielles passées n'ont eu d'effet qu'au niveau de la fabrication industrielle. L'industrie 4.0 est un concept plus avancé qui stimule davantage la productivité en impliquant des fonctions de soutien telles que l'ingénierie. Dans le cadre du concept de l'industrie 4.0, les ouvriers d'usine peuvent travailler avec des téléphones intelligents et des tablettes pour gérer la production et l'entrepôt et communiquer à tous les niveaux. Cependant, le côté sombre de toutes les révolutions industrielles précédentes a été l'ignorance

des dimensions sociales et environnementales. En outre, l'information environnementale est inégale entre l'entreprise et les clients (internes et externes). La réussite de la mise en œuvre de tout projet et la capacité de l'entreprise à être performante dépendent fortement des ressources.

Ce changement de paradigme conduit les organisations de la SC à revoir leurs stratégies et à éventuellement vérifier si leur stratégie digitale doit être adaptée ou reconsidérée à l'aune des possibilités offertes par les aspects de la durabilité. A l'avenir, les organisations pourraient-elles continuer à gérer la SC durable en tirant parti des technologies de la TD pour soutenir les principes de la durabilité déjà en place ? Alternativement, les organisations devraient-elles changer, légèrement ou radicalement, les pratiques mises en place dans le cadre de la SCD ? . La combinaison de ces évolutions associées à la durabilité et à l'Industrie 4.0 a donné récemment naissance au sein de la littérature, à des termes tels que supply chain 4.0, supply chain intelligente, supply chain durable 4.0 ou management intelligente et durable de la supply chain (Kayikci et al., 2022; Ma et al., 2022).

Questions et objectifs escomptés de la recherche

Plus précisément, le travail de recherche engagé dans le cadre de cette thèse vise à répondre aux questions de recherche suivantes :

1. Quel est l'impact de la transformation digitale sur la performance du management de la supply chain?
2. Comment le lien entre la transformation digitale et la durabilité impacte la performance des opérations de la supply chain, en l'occurrence la gestion d'entrepôt ?
3. Quelle est la résilience du modèle développé en intégrant le concept de la transformation digitale et du management durable de la supply chain et de l'entrepôt confrontés aux vulnérabilités dans la supply chain ?

L'objectif de cette recherche peut être conclu en quatre parties :

1. Identifier les aspects majeurs de la transformation digitale qui conduisent à la durabilité de la supply chain,
2. Préciser la relation entre la transformation digitale et la durabilité d'une supply chain
3. Structurer une feuille de route de déploiement de la transformation digitale et les principaux aspects de la durabilité autour de l'amélioration des opérations cruciales de la supply chain, en l'occurrence l'entrepôt par l'utilisation des nouvelles technologies,
4. Analyser qualitativement et quantitativement l'efficience et l'efficacité du modèle intégrant le concept de la transformation digitale et du management durable de la supply chain, ainsi la résilience des modèles proposés de la gestion d'entrepôt.

Structure de la thèse

Afin de répondre aux objectifs et questions de recherche proposées, ce mémoire de thèse a été structuré comme suit :

- Tout d'abord, le chapitre 1 présente les principaux aspects de la transformation digitale - l'industrie 4.0 (I4.0) - qui peuvent améliorer la recherche et l'adoption des technologies de l'I4.0 dans le management de la supply chain (MSC). Une revue systématique de la littérature a été effectuée pour détecter, catégoriser et évaluer les données récentes, en mettant en évidence les tendances et en suggérant des recherches potentielles dans ce domaine, afin d'étudier la littérature de la transformation digitale et son effet sur le MSC. Parmi les axes de recherche, cette thèse s'intéresse aux potentiels de l'interconnexion de la transformation digitale avec les principaux aspects de la durabilité pour répondre aux défis de l'efficacité, de l'efficience et de la résilience de la SC, en l'occurrence la gestion d'entrepôt.

- Le chapitre 2 développe un cadre conceptuel - basé sur 29 facteurs qui constituent les quatre rectifications des parties prenantes - qui évalue de manière holistique les opérations du supply chain automobile (SCA) dans le cadre du modèle ReSOLVE utilisant l'IdO. Ensuite, un panel représentatif des experts des domaines de la SCA, de l'IdO et de la durabilité a participé à une étude Delphi à deux rondes pour valider le cadre conceptuel. Cette étude qualitative apporte des perspectives théoriques et pratiques ainsi que des préoccupations managériales. Le cadre est conçu pour donner aux praticiens et aux universitaires une meilleure compréhension de la façon d'intégrer la technologie de l'IoD dans une SCA durable, de spécifier les actions appropriées et de hiérarchiser les risques potentiels qui peuvent émerger. En outre, les résultats de l'étude aideront les entreprises à déterminer la connectivité entre les principales applications de l'IdO dans la SCA, ce qui sera utile pour développer des stratégies congruentes pour induire une croissance durable.

- Le chapitre 3 prend l'IdO comme technologie d'interconnexion entre la transformation digitale et l'aspect écologique de la durabilité. Nous nous concentrons sur les perspectives de la TD pour les activités de la gestion écologique d'entrepôt (GEE) dans le but d'améliorer l'efficacité et la résilience de la SC. Un modèle de théorie des ensembles flous basé sur l'IdO a été développé pour évaluer la performance de la GEE d'une entreprise leader dans le secteur automobile en termes de métriques écologiques. Le modèle proposé révèle que la dimension de la livraison écologique, sur la base de données recueillie a le plus grand impact sur la performance du dite entreprise. De nombreuses approches de défuzzification ont été utilisées pour démontrer la résilience du modèle proposé inspiré du système d'inférence flou de Mamdani.

- Le chapitre 4 continue cette partie de la recherche en proposant un modèle de gestion circulaire d'entrepôt (GCE) basé sur l'intelligence artificielle des objets (IAdO), ce modèle est testé dans une entreprise leader dans le secteur automobile utilisant une SC réelle pour évaluer la performance de durabilité du modèle proposé pour la TD. Les résultats indiquent que l'utilisation de la technologie de l'IAdO pour restructurer l'entrepôt pour une économie circulaire peut permettre la GCE. En connectant l'approche proposée aux aspects de l'économie circulaire de réutilisation, d'optimisation, de suppression, de recyclage et de virtualisation, des avantages clairs sont fournis. Cette étude vise à améliorer la recherche actuelle en fournissant une preuve réelle de la façon dont la technologie de l'IAdO et l'économie circulaire sont utilisées dans la pratique.

- Enfin, la conclusion clôture cette thèse, indique les limites des travaux présentés, expose le bilan des apports méthodologiques, pratiques et managériaux et propose des perspectives pour de futures recherches

La récapitulation du synoptique du manuscrit de thèse est décrite dans la figure 1.

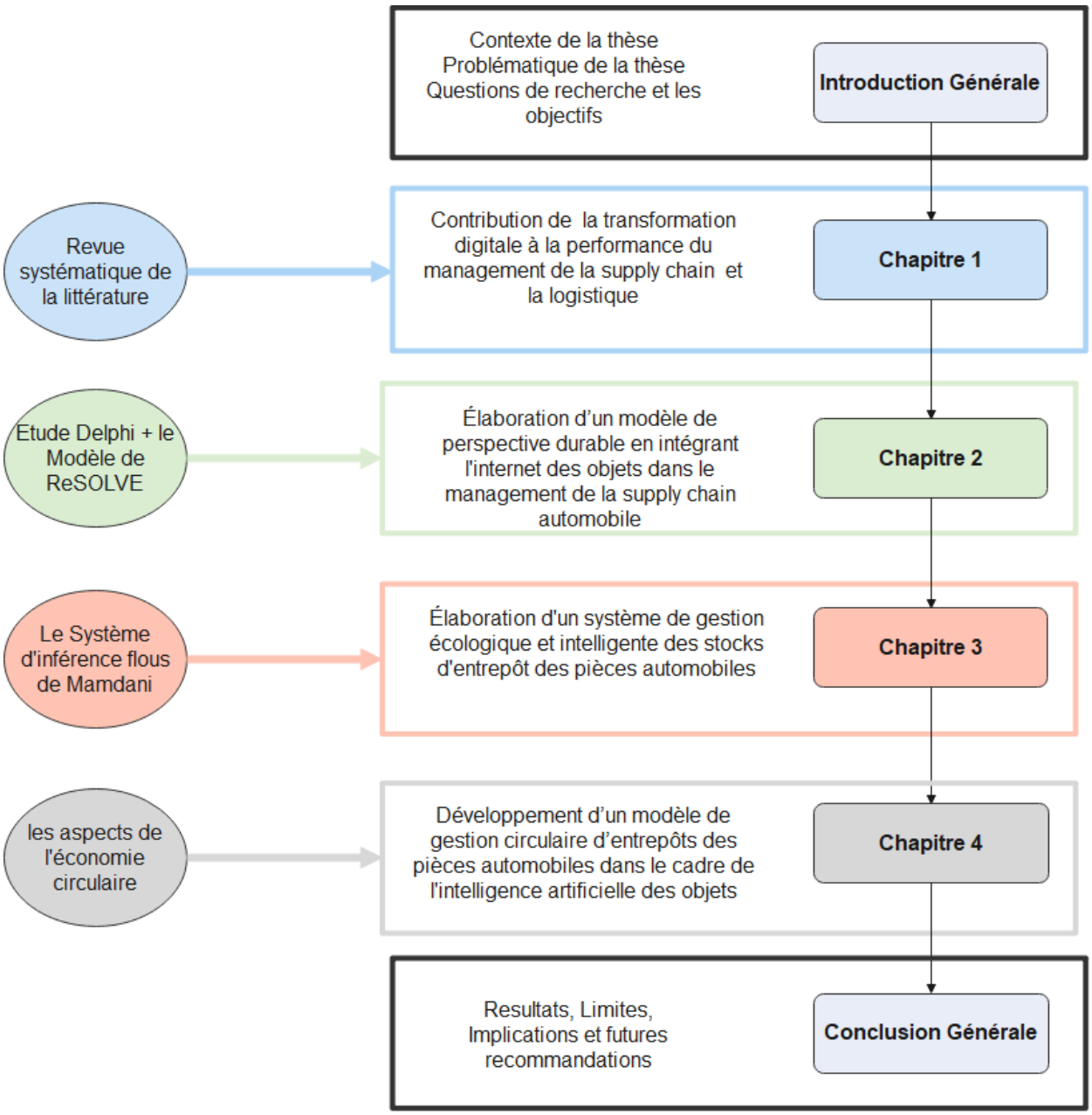


Figure 1: Synoptique du manuscrit de thèse.

(Source : Élaboration des auteurs)

Chapitre 1. Etat de l'art : Contribution de la transformation digitale à la performance du management de la supply chain et la logistique

1.1 Introduction 25
1.2 Contexte théorique 27
1.2.1 Transformation digitale 27
1.2.2 Industrie 4.0 28
1.2.3 Management de la Supply Chain 31
1.2.4 Management Lean de la Supply Chain 33
1.2.5 Management de la supply chain et adoption de la transformation digitale 35
1.3 Méthodologie d'élaboration de l'état de l'art 38
1.3.1 Élaboration de la question de recherche de l'état de l'art 38
1.3.2 Identification des études relative à la question de recherche 39
1.3.3 Sélection et évaluation des études pertinentes 40
1.3.4 Analyse et synthèse des résultats 41
1.3.5 Présentation et utilisation des résultats 42
1.4 Analyse et synthèse 42
1.4.1 Distribution et statistiques 42
1.4.2 Analyse qualitative de la littérature 44
1.4.3 Technologies de l'I4.0 utilisées dans l'état de l'art 51
1.4.4 Résultats de l'analyse et synthèse 54
1.5 Discussion et orientations de la recherche 55
1.5.1 Discussion 55
1.5.2 Implications 60
1.5.3 Limitations 61
1.5.4 Ecarts et orientations futures de la recherche 61
1.6 Conclusion 63

1.1 Introduction

Le management de la supply chain (MSC) joue un rôle crucial dans la qualité de l'expérience client, la maîtrise des coûts et l'agilité d'une entreprise face aux opportunités et aux incertitudes du marché. Les entreprises recherchent la rapidité, la fiabilité et la traçabilité tout en tenant compte de leurs impératifs de coûts, de délais et d'optimisation des stocks (J. Lee et al., 2011). Les managers de la supply chain doivent surveiller et éviter les incidents et les facteurs qui perturbent le processus d'approvisionnement, des incidents les plus courants (retards de livraison, défauts de qualité, etc.) aux événements majeurs (troubles politiques, catastrophes naturelles, instabilité financière des fournisseurs, etc.) (Núñez-Merino et al., 2020). Ces facteurs peuvent entraîner une complexité de la supply chain dans des environnements déjà incertains.

Selon (Beelaerts van Blokland et al., 2012; Jawab et al., 2006), "une supply chain (SC) est le réseau d'organisations impliquées, par le biais de liens en amont et en aval, dans les différents processus et activités qui produisent de la valeur sous la forme de produits et de services livrés au consommateur final". Pour fonctionner correctement dans les environnements complexes dans lesquels les supply chains opèrent - et pour créer des supply chains plus agiles et plus résilientes (Lean) - ces liens, processus et activités nécessitent un suivi, des prévisions, des prédictions et une optimisation. Ces dernières années, des applications basées sur la transformation digitale émergente (Industrie 4.0) ont vu le jour dans plusieurs domaines différents, y compris les supply chains.

Il convient de noter que le concept qui définit plus précisément le phénomène de la transformation digitale "Industrie 4.0" (I4.0) est devenu largement connu en 2011 quand un effort appelé "Industrie 4.0" - un groupe de chefs d'entreprise, politiques et universitaires - a défendu le terme comme un moyen d'améliorer la compétitivité de l'industrie manufacturière allemande. Les technologies de l'I4.0 aident les entreprises à améliorer leurs secteurs d'activité afin de maintenir leur compétitivité et leur concurrence et de fournir de bons produits au bon client dans les plus brefs délais tout en répondant aux exigences des clients (El Jaouhari et al., 2022b; Tang and Veelenturf, 2019). Par exemple, (Sony and Naik, 2020) soulignent les facteurs de réussite les plus importants pour le déploiement réussi de l'I4.0. Au cours des dernières années, l'utilisation de diverses technologies de l'I4.0 dans les différents domaines du MSC a augmenté régulièrement.

Le Lean est une approche de gestion et d'organisation du travail qui vise à maximiser la valeur pour le client tout en minimisant le gaspillage. Il a été développé à l'origine par Toyoyta (Les systèmes de production de Toyota) (Rehm et al., 2013). En outre, le Lean est un système de gestion qui est passé de son objectif principal en tant qu'ensemble d'outils dans le domaine de la production (par exemple, Just à Temps - JAT) à une perspective de systèmes centrés sur l'homme qui peut être utilisé dans n'importe quel processus et n'importe quel environnement (par exemple, le Lean Management - LM) (Alefari et al., 2017). L'objectif principal du Lean Management est de produire des produits de haute qualité qui satisfont les clients exigeants avec le moins de ressources possible (Kadarova and Demecko, 2016; Ibn El Farouk et al., 2020). Car la définition du Lean tend à varier selon la perspective et l'application à partir desquelles nous souhaitons la définir. Par exemple, le Lean Manufacturing est une méthode de production fondée sur la philosophie d'accroître la productivité tout en réduisant les déchets dans un processus de production (Jaouhari et al., 2023; Psomas and Antony, 2019). Selon les universitaires, le Lean Manufacturing pourrait s'appliquer à une variété d'industries, y compris les services, la fabrication et l'enseignement supérieur (Antony et al., 2021).

Néanmoins, les supply chains font face à plusieurs problèmes, y compris l'incertitude et la complexité (Paul et al., 2021). Pour relever ces défis, les supply chains doivent être souples et avoir à la fois une pensée "Lean" et un système technologique qui permet d'intégrer l'information et le flux physique dans les opérations de la supply chain (Lee et al., 2011). À cet égard, le supply chain lean est témoin d'une transition digitale connue sous le nom de l'I4.0, qui est alimentée par l'avancement des technologies de l'information (TI) modernes (Novais et al., 2019).

Avec toute sa pertinence croissante dans l'industrie, les technologies de l'I4.0 gagnent une présence plus grande et plus répandue dans la littérature académique, et cette visibilité a un impact sur une variété de sujets, y compris la recherche commerciale, qui a pris le poste, et les technologies de l'I4.0 sont maintenant étudiées d'un point de vue plus intégré (De Giovanni and Cariola, 2021; Mayr et al., 2018; Müller and Birkel, 2020), où le MLSC a été identifié comme l'un des domaines les plus susceptibles de bénéficier de la TD, en l'occurrence les technologies de l'I4.0.

Malgré le niveau d'intérêt important parmi les praticiens et les académiques (comme en témoigne le grand nombre de publications sur les technologies de l'I4.0, par exemple, (Barreto et al., 2017; Chiarini et al., 2020; Dallasega, 2018, p. 0; Grzybowska and Anna, 2017), Il est crucial d'examiner l'impact des technologies de l'I4.0 dans le domaine du MLSC. Cette exigence a été soulignée dans plusieurs types de recherche, par exemple (De Giovanni and Cariola, 2021; Tjahjono et al., 2017). La présente étude comble cette lacune en procédant à une revue systématique et en répondant à la question de recherche suivante : comment les technologies de la transformation digitale - les technologies de l'I4.0- contribuent-elles aux études du management de la supply chain?

L'objectif de cette étude est donc d'examiner les technologies de la transformation digitale (l'industrie 4.0) qui peuvent contribuer à la recherche et à la mise en œuvre du MSC, ainsi que les sous-domaines améliorés du MSC dans les technologies de l'I4.0.

À bien des égards, notre étude diffère des précédents. En premier lieu, la relation entre les technologies de l'I4.0 et le MSC a été mise en évidence, permettant ainsi une évaluation plus précise de la littérature au lieu d'analyser les études d'un point de vue général. En second lieu, pour réduire le biais des chercheurs et assurer l'exactitude et l'efficacité des résultats, nous utilisons une méthode systématique pour étudier la revue de littérature qui a suivi les lignes directives du (Denyer and Tranfield, 2009) et (Tranfield et al., 2003) ainsi que (Durach et al., 2017).

En ce qui concerne la structure de ce chapitre, l'étude est conçue comme suite : Le contexte théorique de l'etude est décrit dans la section 2, La méthodologie de recherche adoptée de l'étude est décrite dans la section 3, ainsi que des détails sur la façon dont l'examen a été effectué. Ensuite, la section 4 décompose chaque recherche en ses composantes fondamentales et décrit les relations entre elles. Enfin, les résultats sont analysés, certains écarts sont mis en évidence et les orientations et directions futures des études sont établies dans la section 5. La section 6 résume ce chapitre et présente quelques conclusions.

1.2 Contexte théorique

1.2.1 Transformation digitale

La transformation digitale (TD) désigne l'application des technologies digitales dans les entreprises, la société et l'économie (Ancín et al., 2022). Pour les entreprises, la transformation digitale est le processus de mise à niveau des processus commerciaux en utilisant les technologies digitales, par exemple l'intelligence artificielle, la blockchain, l'internet des objets et le cloud computing, afin d'améliorer l'expérience client, de simplifier les opérations et de construire de nouveaux modèles commerciaux (Korpela et al., 2017). En tant qu'innovation perturbatrice, la TD peut compléter, modifier, voire subvertir les règles inhérentes au secteur (Xue et al., 2022). La transformation digitale est un processus complexe qui nécessite une réflexion approfondie de la part des décideurs car la technologie accélère le rythme du changement et génère des incertitudes (Pan et al., 2021). Les entreprises doivent être en mesure d'utiliser les technologies digitales pour soutenir les activités de création de valeur dans le processus de la TD. Des technologies telles que les médias sociaux, les moteurs de recherche et les analyses Web améliorent les interactions digitales avec les parties prenantes et créent des capacités digitales précises et efficaces (Okorie et al., 2023). Une entreprise doit également intégrer les technologies digitales dans les processus, tant en interne qu'en externe ; par conséquent, la promotion de la TD doit être basée sur une stratégie digitale. La volatilité et la complexité du processus de digitalisation exigent que les entreprises formulent, mettent en œuvre, évaluent et ajustent constamment les décisions pertinentes pour transformer l'activité (Pan et al., 2021). Ce n'est que lorsque la TD est formellement élevée au niveau stratégique que la diffusion interne de la technologie digitale et son intégration aux processus d'affaires peuvent être réalisées (Xue et al., 2022).

En outre, il existe deux aspects principaux de la transformation digitale (c'est-à-dire la capacité digitale et la stratégie digitale). La capacité digitale fait référence à l'intégration de la technologie digitale dans les processus d'affaires et les produits organisationnels, c'est-à-dire le niveau d'application de la technologie digitale. Une stratégie digitale décrit la manière dont les organisations utilisent stratégiquement les ressources digitales pour créer une valeur différenciée (Benitez, 2021), reflétant le degré auquel les entreprises intègrent la digitalisation dans leur planification stratégique.
Les évolutions du marché externe et des technologies poussent les entreprises à rechercher activement des opportunités de déploiement de la stratégie digitale, ce qui incite les entreprises à investir dans des capacités digitales pour améliorer les processus internes et externes et la coordination stratégique (Karre et al., 2017). Lorsque la stratégie digitale est acceptée par un manager et intégrée à la stratégie de l'entreprise, la TD est soutenue par un système interne formel (Benitez, 2021). Lorsqu'une entreprise remodèle et réorganise ses processus opérationnels, elle peut évoluer vers un modèle d'entreprise digital unique (Yu et al., 2021). Par conséquent, la stratégie et les capacités digitales permettent à une entreprise d'intégrer les processus et les ressources pour réaliser la digitalisation.
La transformation digitale a été largement considérée comme un moteur des activités de création de valeur (Pan et al., 2021). Les technologies digitales pénètrent tous les aspects des activités opérationnelles, comme la production, la gestion et les ventes, et créent des avantages pour les entreprises en améliorant les processus commerciaux et en façonnant des capacités organisationnelles uniques. Par exemple, la TD peut aider les entreprises à acquérir des capacités de réseau (L. Yang et al., 2020), une capacité d'innovation collaborative (Benitez,

2021) et une capacité de gestion des connaissances (Carayannis et al., 2018), améliorant ainsi la performance des entreprises. En outre, les technologies digitales telles que les capteurs, les outils d'analyse de données, la réalité virtuelle et les plateformes digitales aident non seulement les entreprises à exploiter une grande quantité d'informations de haute qualité, mais elles soutiennent également la communication en ligne au sein des entreprises et avec les partenaires de distribution, ce qui permet d'éviter l'asymétrie des informations, de promouvoir les ressources complémentaires et de renforcer la coopération en matière de durabilité (Abideen et al., 2021). Par conséquent, la TD peut promouvoir l'innovation en matière de processus écologiques (Gellers, 2021) et stimuler la performance durable d'une entreprise et de l'ensemble de la SC (Dallasega, 2018). Cependant, il existe encore de nombreuses incertitudes quant aux résultats de la TD, ce qui peut entraîner des effets négatifs. Par exemple, la TD peut créer une charge financière élevée (Cui et al., 2021a) et accroître l'insécurité des employés (Valentina et al., 2021). En outre, certains chercheurs ont également constaté que la TD peut conduire à des comportements opportunistes lorsqu'il existe un grand écart dans la maturité digitale d'une entreprise et de ses partenaires de la SC (Aamer et al., 2021; Abdul-Hamid et al., 2020; Adat and Gupta, 2018).

1.2.2 Industrie 4.0

Le concept de l'industrie 4.0 (I4.0) est associé à ce que le nous appelons la " quatrième révolution industrielle " et a été initialement présenté comme le futur projet de stratégie industrielle de haute technologie à Hanovre, en Allemagne, en 2011 (Tjahjono et al., 2017). Ces dernières années, l'industrie 4.0 est devenue l'un des concepts internationalement acceptés de la digitalisation industrielle (Karre et al., 2017). Ce concept englobe l'intégration horizontale et verticale de l'ensemble de la chaîne de valeur, les systèmes de production digitaux intelligents et interconnectés, la production autonome et la communication directe des actifs, des produits et des personnes dans le monde physique et digital (Barreto et al., 2017). La figure 2 donne un aperçu de l'évolution de la digitalisation industrielle (Almada-Lobo, 2015). Le temps de développement des trois premières révolutions a été d'environ 100 ans, et il n'a fallu que 40 ans pour atteindre la quatrième à partir de la troisième. Dans les années 1800, l'industrie 1.0 a évolué grâce au développement d'infrastructures de production mécanique pour les machines à eau et à vapeur. L'augmentation de la capacité de production se traduit par un gain massif pour l'économie. L'industrie 2.0 a évolué en 1870 avec le concept de l'énergie électrique et de la production à la chaîne. L'industrie 2.0 se concentre principalement sur la production de masse et la répartition de la charge de travail, ce qui augmente la productivité des entreprises manufacturières. L'industrie 3.0 a vu le jour en 1969 avec le concept de l'électronique, de l'automatisation partielle et des technologies de l'information. L'industrie 4.0 a évolué en 2011 avec le concept de fabrication intelligente pour l'avenir. L'objectif principal est de maximiser la productivité et de parvenir à une production de masse en utilisant les technologies émergentes de la TD (Bai et al., 2020). L'industrie 5.0 est une évolution future conçue pour utiliser la créativité des experts humains en collaboration avec des machines efficaces, intelligentes et précises (Adel, 2022).

L'industrie 4.0 est plutôt un concept de haut niveau de la transformation digitale et est encore à son premier âge de mise en œuvre dans les industries. L'intégration des systèmes cyber-physiques (SCP) est définie comme le fondement initial du concept de l'I4.0. Les SCP visent à contrôler les processus physiques et à les améliorer continuellement en prenant des mesures correctives (AL-Salman and Salih, 2019). (Benitez, 2021) précise l'industrie 4.0 à travers trois piliers : Le produit intelligent, la machine intelligente et l'opérateur augmenté. Le produit

intelligent se transforme d'un objet en une partie du système, qui porte des informations individuelles sur le produit et son plan de fonctionnement. La machine intelligente devient une partie du système de production cyber-physique (SPCP), qui est en ligne avec le SCP. L'opérateur augmenté sert d'aide technologique à l'employé dans l'environnement difficile des systèmes de production hautement modulaires (Benitez, 2021). (Valentina et al., 2021) proposent un éventail de diverses définitions de l'industrie 4.0 et des concepts connexes par le monde académique et par les praticiens.
(Yu et al., 2021) identifient le problème de la variété des interprétations et compilent le cadre le plus récent du concept de l'industrie 4.0 du point de vue de la SC. (Karre et al., 2017) affirment que le concept ne peut devenir une réalité que si la logistique est capable de fournir aux systèmes de production les facteurs de production nécessaires au bon moment, dans la bonne qualité et au bon endroit. Les principaux éléments technologiques de l'industrie 4.0 sont représentés dans le tableau 4.

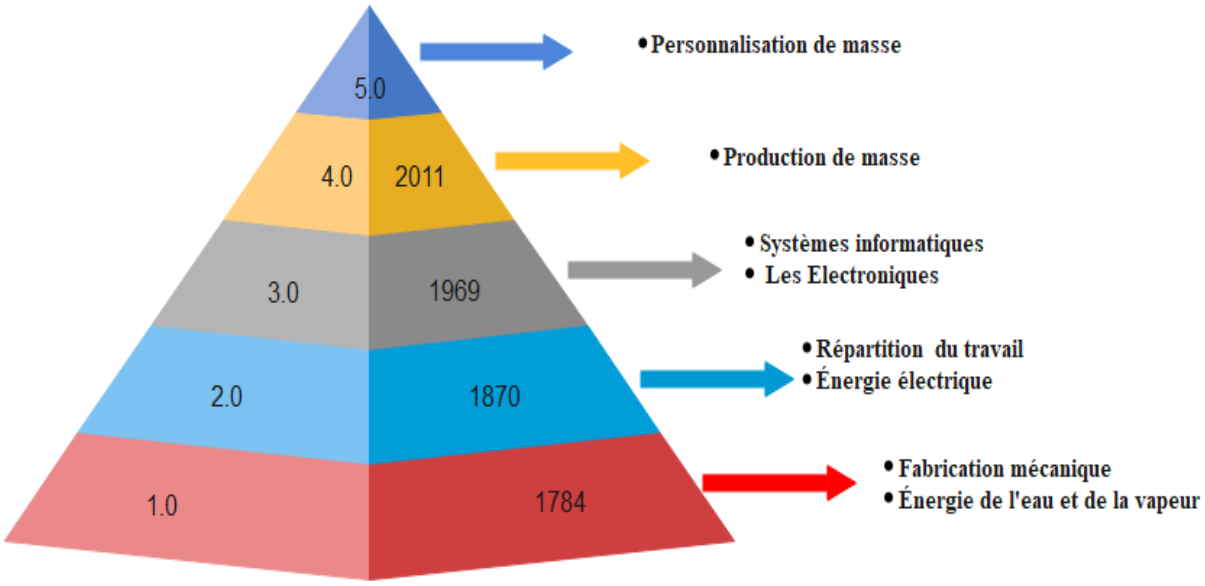


Figure 2: Illustration de l'évolution de la digitalisation industrielle.

(Source : Élaboration des auteurs)

Tableau 4: Description des technologies de l'industrie 4.0.

Technologie	Description
Internet des Objets (IdO)	Le terme " Internet des objets " désigne des objets physiques réels dotés de capteurs, d'une puissance de calcul, de logiciels et d'autres technologies et qui peuvent se relier et échanger des données avec d'autres systèmes et appareils via l'Internet ou d'autres infrastructures de télécommunications (AL-Salman and Salih, 2019).

Identification par Radiofréquence (RFID)	La RFID fait référence à un système sans fil composé de deux parties : les lecteurs et les étiquettes. Le lecteur est un gadget électronique doté d'une ou plusieurs antennes qui émettent des ondes radio et reçoivent les signaux des étiquettes du RFID (Ali and Haseeb, 2019).
Systèmes Cyber-Physiques (SCP)	Les systèmes cyber-physiques relient les infrastructures et les objets physiques à l'Internet et les uns aux autres en intégrant la mise en réseau, le contrôle, le calcul et la détection dans les composants physiques (AL-Salman and Salih, 2019).
Intelligence Artificielle (IA)	La reproduction des fonctions intellectuelles humaines par des machines, en particulier des systèmes informatiques, est connue sous le nom d'intelligence artificielle. Le traitement du langage naturel, les systèmes experts, la vision artificielle et la reconnaissance vocale sont quelques exemples d'applications spécifiques de l'IA (Allam and Dhunny, 2019).
Blockchain (BC)	La technologie de la blockchain est un réseau décentralisé qui conserve une collection croissante d'entrées ou de blocs ordonnés séquentiellement. La cryptographie est utilisée pour joindre ces blocs. Chaque bloc comprend des informations sur la transaction, un horodatage et un condensé cryptographique du bloc précédent (Korpela et al., 2017)
Analyse des Big Data (ABD)	L'analyse des Big Data est une technique utilisée pour découvrir des informations importantes telles que les connexions non observées, les modèles cachés, les tendances du marché et les préférences des consommateurs (Allam and Dhunny, 2019).
Robotique	La robotique est la synthèse de l'ingénierie, de la science et de la technologie qui aboutit à des dispositifs, appelés robots, qui imitent ou remplacent les êtres humains dans l'exécution de tâches (L. Yang et al., 2020).
Apprentissage Automatique (Machine learning)	L'apprentissage automatique (AA) est un modèle d'intelligence artificielle qui permet aux systèmes logiciels d'améliorer leur propension à prédire les résultats sans être spécifiquement conçus pour le faire. Les algorithmes d'apprentissage automatique estiment de nouvelles valeurs de sortie en utilisant des données antérieures en entrée (Adi et al., 2020).
Réalité Virtuelle (RV)	Un environnement de réalité virtuelle (RV) est une simulation 3D qui permet aux utilisateurs d'interagir et d'explorer un monde virtuel d'une manière qui simule la réalité telle qu'elle est vécue par les perceptions de l'utilisateur (Gellers, 2021).
Cloud Computing (CC)	Le Cloud Computing est la fourniture de services informatiques par le biais d'Internet (le "Cloud"), notamment le stockage, les serveurs, les bases de données, les logiciels, la mise en réseau, l'intelligence et l'analytique. Il vise à

	fournir une innovation plus rapide, des ressources adaptables et des économies d'échelle (Novais et al., 2019).
Usine Intelligente (UI)	L'usine intelligente est un système cyber-physique qui analyse les données, alimente des opérations automatisées et apprend en permanence à l'aide de technologies de pointe comme l'apprentissage automatique et l'intelligence artificielle (Kumar and Lee, 2022).
Réalité Augmentée (RA)	La réalité augmentée (RA) est une représentation optimisée du monde réel qui est obtenue par l'intégration de composants visuels digitaux, de sons ou d'autres entrées sensorielles et leur diffusion par la technologie (Palmarini et al., 2018).
Internet des Services (IdS)	L'Internet des Services offre de nouvelles possibilités aux entreprises et aux clients privés, facilement accessibles via les technologies du web. Le service est défini comme "une transaction commerciale dans le cadre de laquelle une partie accorde un accès temporaire aux ressources d'une autre partie afin d'exécuter une fonction prescrite et un avantage connexe (AL-Salman and Salih, 2019).
Impression 3D	L'impression 3D est la construction d'un objet tridimensionnel à partir d'un modèle de CAO (conception assistée par ordinateur) ou d'un modèle digital 3D. Elle peut être réalisée par divers procédés dans lesquels le matériau est déposé, assemblé ou solidifié sous le contrôle d'un ordinateur, le matériau étant ajouté, généralement couche par couche (Fahmy et al., 2020).
Cybersécurité (CS)	La cybersécurité est la protection des systèmes et réseaux informatiques contre les attaques d'acteurs malveillants pouvant entraîner la divulgation non autorisée d'informations, le vol ou l'endommagement de matériel, de logiciels ou de données, ainsi que la perturbation ou le détournement des services qu'ils fournissent (Culot et al., 2019).

(Source : Élaboration des auteurs)

1.2.3 Management de la supply chain

Le terme Management de la Supply Chain (MSC) a été introduit pour la première fois par des consultants au début des années 1980 (Oliver and Webber, 2012). Comme pour le terme "Supply Chain", les définitions et concepts existants pour le MSC sont souvent adaptés aux perspectives des différents acteurs. Néanmoins, le Conseil des Professionnels du Management de la Supply Chain aux Etats-Unis, qui est le premier leader professionnel dans ce domaine, donne la définition suivante :

"Le Management de la supply chain englobe la planification et la gestion de toutes les activités liées au sourcing et à l'approvisionnement, à la conversion et à toutes les activités de la supply chain. Il est important de noter qu'il comprend également la coordination et la collaboration avec les partenaires de la chaîne, qui peuvent être des fournisseurs, des intermédiaires, des

prestataires de services tiers et des clients. En substance, le management de la supply chain intègre la gestion de l'offre et de la demande au sein des entreprises et entre elles."

Ici, le management de la logistique fait référence à la planification, à la mise en œuvre et au contrôle du flux et du stockage efficaces et effectifs, en amont et en aval, de biens, de services et d'informations connexes entre le point d'origine et le point de consommation, afin de répondre aux exigences des clients. Un exemple du management de la supply chain est décrit dans la figure 3.

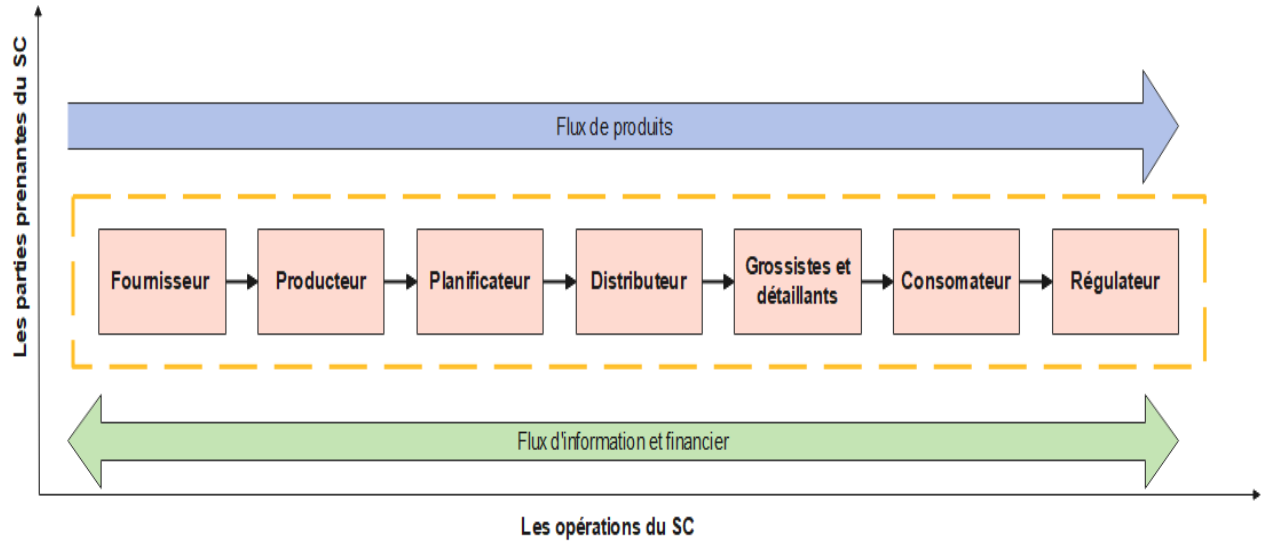


Figure 3: Exemple du MSC.

(Source : Élaboration des auteurs)

D'après cette définition, nous pouvons voir que le MSC commence par l'approvisionnement des matériaux ou des services nécessaires à la création des produits finis, et se poursuit jusqu'à ce que les produits finis soient entre les mains des clients. La figure 4 présente une carte des principales activités du MSC. Les décisions du MSC impliquées peuvent être classées en trois niveaux : stratégique, tactique et opérationnel. En tant que partie essentielle du MSC, les décisions de niveau stratégique conçoivent le réseau de la supply chain, notamment en prescrivant l'emplacement des installations, les technologies de production et les capacités des usines. Le niveau tactique prescrit les politiques de gestion des flux de matières, notamment les niveaux de production dans les usines, la politique d'assemblage, etc. Enfin, le niveau opérationnel planifie les opérations pour assurer la livraison à temps des produits finis aux clients, y compris les politiques de contrôle des stocks et la planification de la distribution (Jawab and Bouami, 2004; Oliver and Webber, 2012).

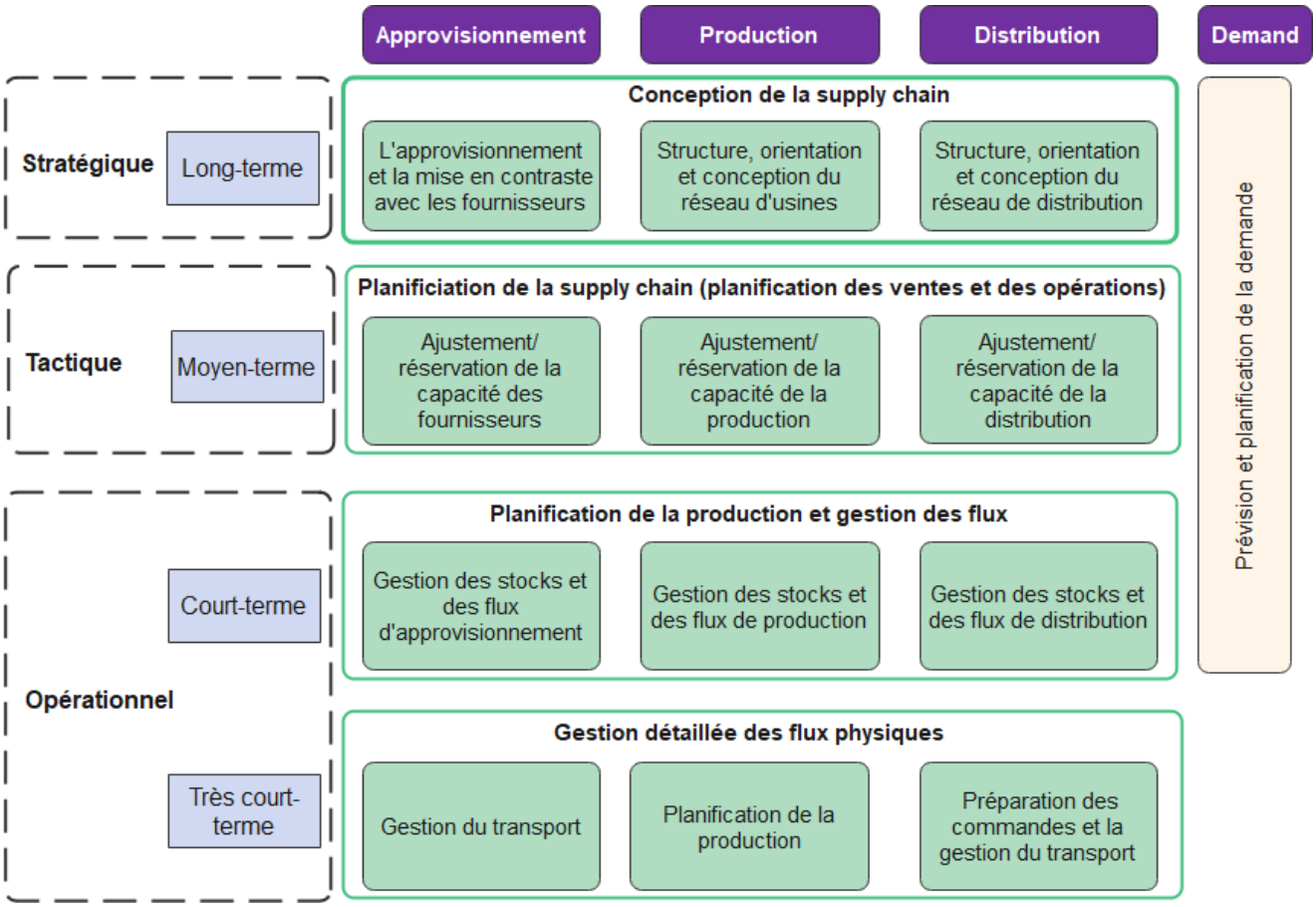


Figure 4: Activités Clés du MSC.

(Source: Élaboration des auteurs)

1.2.4 Management lean de la supply chain

(Antony et al., 2021) ont défini le lean manufacturing comme "l'élimination systématique des déchets par tous les membres de l'organisation dans tous les domaines de la chaîne de valeur". La cartographie de la chaîne de valeur (Value Stream Mapping -VSM) est définie par (Busert and Fay, 2019) comme une technique du lean manufacturing qui permet non seulement de traquer les gaspillages et de rationaliser les processus, mais aussi d'améliorer les capacités de développement des produits (Alefari et al., 2017). D'autre part, (Alefari et al., 2017) a une perspective différente décrivant le lean manufacturing comme "une philosophie qui, lorsqu'elle est mise en œuvre, réduit le temps entre la commande du client et la livraison en éliminant les sources de gaspillage dans la production". La pratique lean permet aux organisations d'obtenir des avantages concurrentiels en améliorant leur qualité, leurs processus, leurs coûts, leurs performances et leur temps de cycle (El Jaouhari et al., 2022b; Schulze and Dallasega, 2021). (Rehm et al., 2013) ont souligné que la pratique lean conduit une organisation à être non seulement meilleure que ses concurrents mais aussi la meilleure dans chaque processus et produit. L'objectif principal du lean est d'éliminer les déchets et d'améliorer le flux sur la base de diverses techniques éprouvées pour obtenir un avantage concurrentiel supérieur à celui des autres organisations (El jaouhari et al., 2023; Psomas and Antony, 2019). Les sept déchets

importants de la pratique lean sont le traitement, l'attente, le mouvement, la surproduction, le transport, l'inventaire et les défauts (Hotrawaisaya et al., 2019). L'élimination de ces gaspillages peut améliorer diverses fonctions telles que l'approvisionnement, l'ingénierie, la facturation, le contrôle des stocks, la saisie des commandes, l'ordonnancement, la comptabilité et les ventes. La livraison JAT des produits et des services (au bon moment, à la bonne quantité, au bon endroit et à la bonne qualité) est l'idée principale de la création du flux dans la pratique lean. Les outils les plus courants du lean manufacturing qui sont utilisés pour éliminer les déchets comprennent la VSM, le travail standard, les 5S, l'échange de matrices en une minute (single-minute exchange die - SMED) et la gestion visuelle (Psomas and Antony, 2019). Le lean manufacturing se compose d'un grand nombre de pratiques et de techniques. Les pratiques lean peuvent être divisées en six domaines (Antony et al., 2021): processus et équipement ; fabrication, planification et contrôle ; ressources humaines ; conception du produit ; relations avec les fournisseurs ; et relations avec les clients. Les quatre premiers domaines sont regroupés en tant que pratiques lean orientées vers l'intérieur, tandis que les relations avec les fournisseurs et les relations avec les clients relèvent des pratiques lean orientées vers l'extérieur. (De Giovanni and Cariola, 2020) estiment que l'objectif des pratiques lean peut être classé en trois groupes : identification et élévation des problèmes, analyse des causes des problèmes et solution. (Antony et al., 2021) ont souligné que lorsque les causes profondes des problèmes ont été identifiées, les gens peuvent améliorer continuellement le système. Le MSC et l'approche lean partagent des principes communs afin de répondre aux besoins des clients mieux que les concurrents. Le MSC se concentre sur toutes les conditions aux limites (capacité, disponibilité des matériaux, temps de passage) et sur la planification stratégique, contrairement aux pratiques lean qui se concentrent sur l'optimisation des structures existantes. Nous pouvons donc supposer que le management lean de la supply chain (MLSC) met l'accent sur l'amélioration continue des processus et activités existants au sein des supply chains afin de mieux répondre aux exigences des clients que les concurrents (Ramos et al., 2020). Dans la mise en œuvre du MLSC, seules les étapes du processus qui génèrent réellement de la valeur pour les clients ont été prises en compte. il met l'accent sur les produits et leurs exigences plutôt que sur l'organisation ou l'équipement. Le cadre conceptuel du MLSC est décrit dans la figure 5.

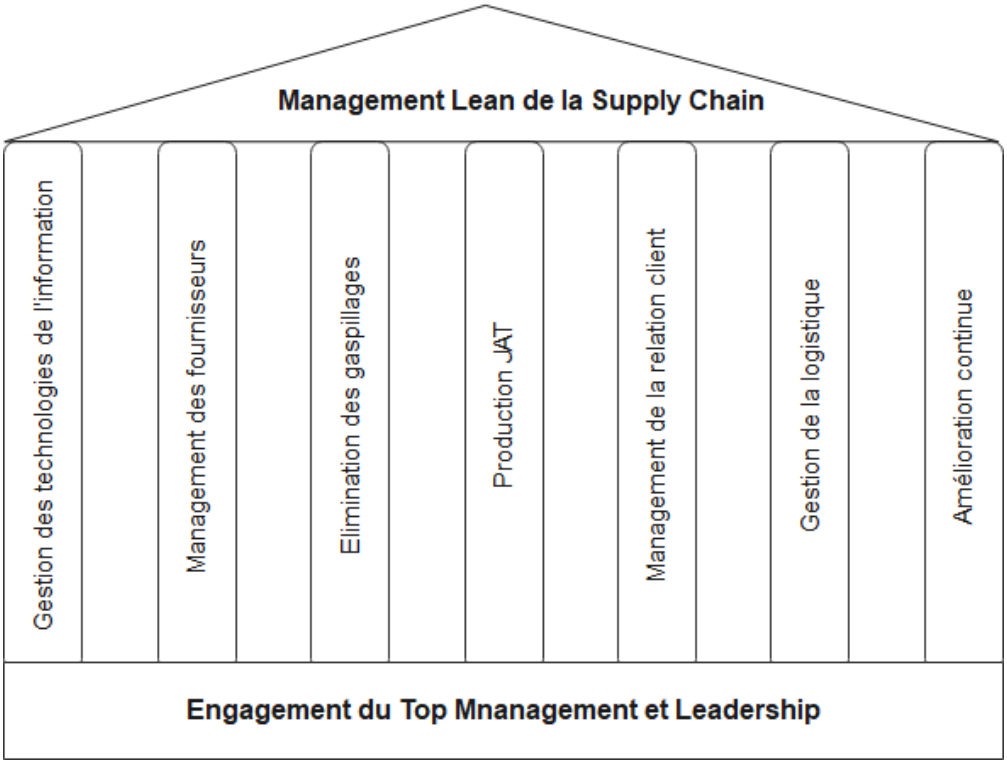


Figure 5: Cadre conceptuel du management lean de la supply chain.

(Source : Élaboration des auteurs)

1.2.5 Management de la supply chain et adoption de la transformation digitale

La transformation digitale utilise les technologies digitales pour créer de nouveaux processus commerciaux et de nouvelles opportunités pour répondre aux changements toujours plus importants de l'environnement commercial (Xue et al., 2022). De nombreuses organisations utilisent les technologies de transformation digitale (Industrie 4.0) pour améliorer les intégrations de systèmes (AL-Salman and Salih, 2019). Les responsables de la SC tentent de réduire les coûts et de développer des systèmes plus agiles, plus flexibles et plus connectés afin de gagner en valeur marchande pour répondre à l'évolution rapide des comportements des consommateurs et à la volatilité du marché (Núñez-Merino et al., 2020). La transformation digitale aide les organisations à raccourcir le développement des produits, à augmenter la flexibilité et à générer de l'innovation (De Giovanni, 2021). Elle aide les gens à rester compétitifs à l'ère de l'Internet (Karre et al., 2017). La transformation digitale utilise les technologies nouvellement intégrées dans l'industrie pour créer le royaume de l'industrie 4.0 et des fabricants plus intelligents (Almada-Lobo, 2015). Elle permet de synchroniser la production, de prévenir la distorsion de l'information et de réduire les délais de livraison (Amejwal et al., 2022; Hotrawaisaya et al., 2019). L'industrie 4.0 est un système adaptable qui ajuste automatiquement des lignes de production flexibles pour différents types de produits en fonction de l'évolution des conditions. Elle peut améliorer la qualité, la flexibilité et la productivité, ce qui conduit à des biens personnalisés avec une meilleure consommation des ressources (El Jaouhari et al., 2023a; Yu et al., 2021).

Le management digital de la supply chain (MDSC) permet de livrer électroniquement des produits de l'origine à la destination (Dallasega, 2018). Le MDSC permet d'accroître la réactivité, la flexibilité et l'agilité (Tortorella et al., 2019). il utilise les nouvelles technologies pour créer un système du MSC transparent, sûr et fiable (De Giovanni and Cariola, 2020). Ces technologies permettent aux entreprises de répondre aux besoins dynamiques des clients en temps voulu. Les avantages du MDSC incluent des services rentables et des opérations à valeur ajoutée, qui peuvent être utilisés par de nombreux acteurs de l'écosystème (Benitez, 2021). Les technologies relevant de la transformation digitale, telles que l'Internet industriel des objets (IIdO) et les systèmes cyber-physiques (SCP), contribuent à améliorer les performances du MSC en comblant le fossé entre les mondes digital et physique. L'industrie 4.0 modifie considérablement le comportement du MSC en vue d'obtenir des processus plus intelligents et plus flexibles, en favorisant les mesures d'automatisation et d'optimisation, l'efficacité des ressources et le bien-être général du personnel et de la société (Müller and Birkel, 2020). Ces nouvelles technologies émergentes et les nouvelles tendances en matière de digitalisation ont eu un impact positif considérable sur les processus de la SC (Ghobakhloo, 2019).

Différentes études dans la littérature sur la SC examinent le rôle de la TD dans le MSC. (Hahn, 2020a; Jaouhari et al., 2023) ont étudié l'impact de l'industrie 4.0 sur le MSC. (Tortorella et al., 2019) ont utilisé la théorie du contrôle pour résoudre les problèmes d'ingénierie dans le MSC et l'industrie 4.0 pour l'optimisation du MSC. (Soni et al., 2022) ont proposé un modèle sous la perspective de l'Industrie 4.0 pour améliorer la durabilité de la SC en considérant les dimensions du lean, de l'agililté, de la résilience et de la durabilité dans la SC. (Yu et al., 2021) ont étudié l'impact des technologies de l'industrie 4.0 sur les risques liés à la SC. (Tortorella et al., 2019) ont présenté un cadre conceptuel pour illustrer les concepts de l'industrie 4.0 dans les SCs de construction. (Dallasega, 2018) a examiné le sujet du MSC dans le domaine de l'industrie 4.0 et a fourni des défis, des perspectives et des recommandations pour leur intégration. (Kaushik et al., 2020) ont étudié le processus d'évaluation et de sélection des fournisseurs stables pour les SC dans l'industrie 4.0. (Almada-Lobo, 2015) a proposé un modèle conceptuel pour le MSC et a considéré le commerce, la technologie, l'expansion durable, la coopération et les dimensions de la stratégie de management pour répondre aux dispositions de révolution de l'industrie 4.0. (Singh et al., 2021) ont examiné l'impact de la stratégie d'innovation à travers les technologies de l'industrie 4.0 dans la SC lean et écologique.

(Luthra and Mangla, 2018) ont proposé un cadre théorique pour la mise en œuvre du MDSC et ont fourni des avantages, des faiblesses et des limites. (Hahn, 2020a) ont examiné la littérature sur la digitalisation de la SC en utilisant une analyse bibliométrique et une méta-analyse. (Tjahjono et al., 2017) ont proposé un modèle pour les capacités du MDSC dans l'industrie 4.0 qui comprend six technologies habilitantes principales. (Fernando et al., 2023) ont examiné l'impact de la TD et des technologies intelligentes dans l'amélioration des performances du MDSC. (Lezoche et al., 2020) ont proposé un cadre pour la digitalisation de la SC alimentaire. Le cadre de développement du MDSC est présenté dans la figure 6. Et les détails de la décomposition du MDSC sont décrits dans la figure 7.

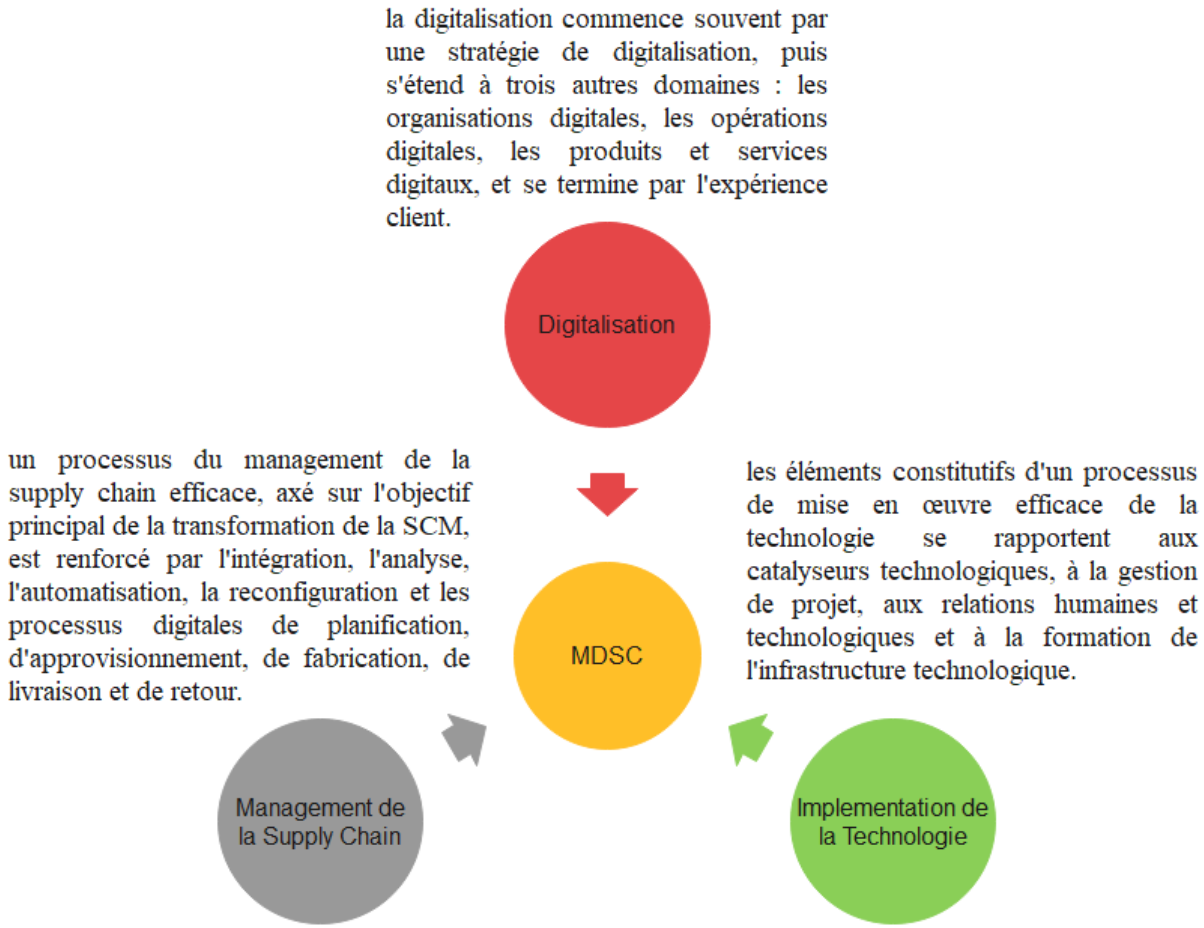


Figure 6: Schéma pour le développement du management digital de la supply chain.

(Source : Élaboration des auteurs)

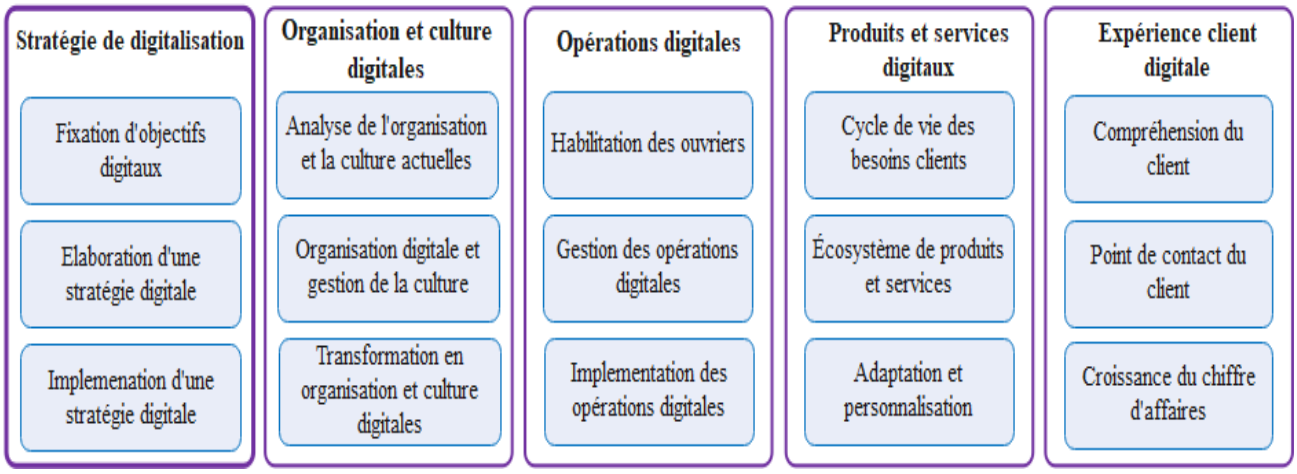


Figure 7: Cadre décomposé pour la digitalisation du management de la supply chain.

(Source: Élaboration des auteurs)

1.3 Méthodologie d'élaboration de l'état de l'art

L'approche de la revue systématique de la littérature (RSL) a été choisie pour évaluer l'état actuel de la recherche sur l'interrelation de la TD- MLSC (Denyer and Tranfield, 2009; Tranfield et al., 2003). Les principaux avantages de cette méthode sont qu'elle assure un flux de travail systématique, reproductible et rigoureux pour synthétiser les données actuelles de façon exhaustive et objective (Denyer and Tranfield, 2009). L'approche choisie comporte cinq étapes recommandées par (Tranfield et al., 2003). Les lignes directrices créées pour élaborer une RSL rigoureux dans le domaine de la gestion des opérations ont été ajoutées à cette approche (Thomé et al., 2016) et au domaine du management de la supply chain (Durach et al., 2017), ainsi que pour assurer l'exactitude et l'efficacité des résultats. Les étapes de la revue systématique de littérature sont démontrées dans la figure 8.

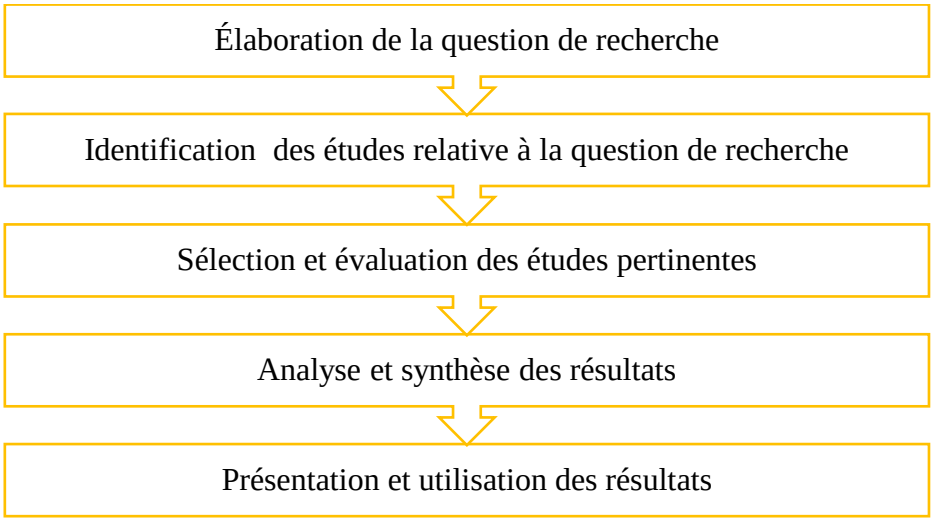


Figure 8: Les étapes de la revue systématique de littérature.

(Source: Élaboration des auteurs)

1.3.1 Élaboration de la question de recherche de l'état de l'art

La première étape de chaque RSL consiste à formuler la principale question de recherche (QR), ce qui permet ensuite une bonne analyse du sujet ; nous commencerons par la question de recherche globale qui est résumée comme suit : Comment les technologies de la transformation digitale - l'Industrie 4.0 -contribuent-elles aux études du management lean de la supply chain ?

Cette large QR a été divisé en quatre questions différentes qui portent sur les objectifs les plus ciblés de cette étude :

- *(QR 1) Quelles sont les technologies de la transformation digitale les plus utilisées dans la recherche sur le MLSC ?*
- *(QR 2) Quels sont les sous-domaines et les activités que les technologies de la transformation digitale devraient améliorer ?*
- *(QR 3) Quelles sont les technologies potentielles de la transformation digitale qui peuvent être utilisées dans les études du MLSC ?*
- *(QR 4) Quels sont les principaux défis et occasions de mettre en œuvre l'Industrie 4.0 dans le MLSC ?*

1.3.2 Identification des études relative à la question de recherche

La deuxième étape consiste à repérer les études les plus importantes liées à la question de recherche. Cette étape est jugée nécessaire parce que, si les articles sélectionnés sont inappropriés ou non pertinents, la contribution apportée par les phases suivantes sera déformée. Pour notre étude, les données ont été recueillies à partir de la base de données Scopus, Dont la couverture est plus de 60 % plus étendue que celle du Web of Science (WoS) (Zhao and Strotmann, 2015).

Des mots clés relatifs aux thèmes de recherche de base ont été utilisés pour créer la chaîne de recherche. La chaîne de recherche initiale comprenait les termes « lean », « supply chain » et « I4.0 ». À la suite d'une recherche préliminaire utilisant ce mélange de mots clés, même si les termes de recherche étaient trop larges, nous avons découvert que certaines études sur le JAT et les problèmes logistiques manquaient toujours. Par la suite, nous avons découvert d'autres termes dans la littérature, qui ont été inclus dans la requête de recherche pour la rendre plus précise. Ainsi, nous avons choisi les mots clés en collaboration.

Par conséquence, Nous avons décidé d'inclure les mots-clés "systèmes d'information" et "technologie de l'information". Et d'autres mots clés liés aux outils utilisés dans l'I4.0 tels que l'Internet des objets, cloud computing, blockchain, apprentissage automatique, les systèmes cyber-physiques, la technologie de la cybersécurité, la réalité virtuelle et la transformation digitale.

Le mot-clé "logistique" a été ajouté à la chaîne de recherche pour inclure des articles axés sur la 4ème révolution de la logistique et l'e-logistique.
Ces mots-clés ont également été juxtaposés pour générer plusieurs chaînes de recherche principales. Des opérateurs simples, comme des caractères tronqués (*) et des opérateurs booléens (« AND » et « OR »), ainsi que des expressions exactes («, » ou {,},) ont été utilisés pour générer des recherches spécifiques et complexes.
La chaîne de recherche a été conçue de sorte que les articles trouvés contiennent au moins un des éléments clés soit dans le titre, le résumé, ou les mots-clés de l'auteur. Dans ce contexte, l'objectif de recherche est d'examiner l'intersection entre le groupe des technologies de la TD, le groupe du Lean management et le groupe du management de la supply chain. Par conséquent, les chaînes de recherche ont été créées spécifiquement pour trouver des documents dans cette zone d'intersection, comme le montre la figure 9.

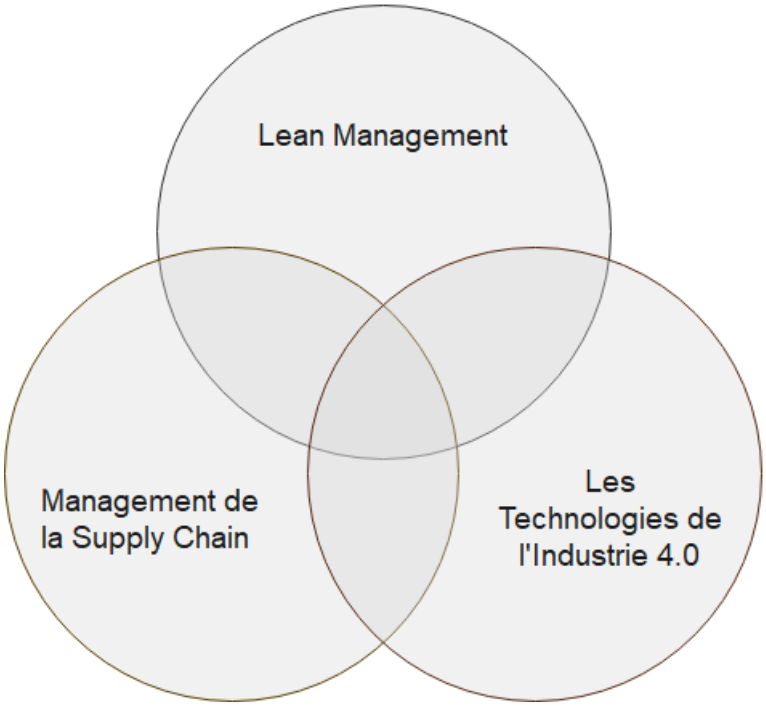


Figure 9: Concepts clés dans la RLS de la corrélation entre le MLSC et l'I4.0.

(Source: Élaboration des auteurs)

1.3.3 Sélection et évaluation des études pertinentes

La troisième étape vise à éliminer les documents qui ne sont pas pertinents. Pour ce faire, nous établissons certains critères qui déterminent les documents qui devraient être inclus dans l'examen (critères d'inclusion) et ceux qui devraient être jetés sans autre examen (critères d'exclusion) (Okoli and Schabram, 2010; Denyer and Tranfield, 2009).

Tout d'abord, la chaîne de recherche a été créée pour s'assurer que les articles choisis avaient au moins trois mots-clés principaux, à savoir "lean management", " Management de la Supply chain " et " les technologies de l'I4.0 " dans le titre, le résumé et/ou la liste des mots-clés. Les types d'articles sélectionnés étaient les « Revues académiques/savantes et à comité de lecture » publiées de 2010 à 2021, qui ont produit un total de 622 articles. Pour mieux clarifier, nous avons ajouté d'autres critères d'inclusion, à savoir celui des articles qui traitent des problèmes des technologies de l'I4.0 dans le MSC. À l'exclusion des documents/actes de conférence, des documents de travail, des rapports sur les marchés, des rapports sur les entreprises/l'industrie, des éditoriaux et des nouvelles. Par conséquent, des articles dans la presse, ainsi que des articles et des revues de littérature publiés dans des revues à comité de lecture et rédigés en anglais, ont été examinés, ce qui a donné cette fois jusqu'à 254 articles.

Néanmoins, le nombre d'articles étudiés est encore trop important pour être correctement analysé et évalué, ce qui nous oblige à ajouter d'autres critères d'inclusion : Les articles devraient être publiés dans des revues liées aux technologies de l'I4.0 et MLSC, ainsi que dans des revues classées par ABDC/ABS. Au total, 79 articles répondaient aux critères de

pertinence, d'intégrité et d'accessibilité perçus (les classements H-index et SCImago ont été utilisés). Le tableau 5 illustre cette procédure.

Tableau 5: Les étapes de sélection des articles pour cette étude.

Etape	Description	Nombre d'article
Étape 1 : Recherche par mots-clés	○ Mots-clés : ({Transformation digitale}, {lean}, {juste à temps}, {supply chains}, {logistique}, {Industrie 4.0}, { system d'information}, {technologie de l'information}, {technologie de l'information et de communication}, {innovation technologique}, {Internet des objets}, { cloud computing }, {Web}, {planification des ressources de l'entreprise}, {planification des besoins matériels}, {échange de données informatisées}, {identification par radiofréquences}, {renseignements opérationnels}, {logiciel}, {intelligence artificielle}, {technologie de cybersécurité}, {réalité augmentée}, {simulation}, {e-logistic}, {supply chain digitale}, {logistique 4.0}, {Systèmes cyber-physiques}, {veille économique}, {blockchain}, {réalité virtuelle}, {véhicule autonome}, {machine learning}) ○ Base de données de recherche : SCOPUS ○ Champ : Titre, Résumé, Mots-clés ○ Type d'article : Revues académiques/savantes et revues à comité de lecture ○ Intervalle de temps : publié de 2010 à juin 2021	622
Étape 2 : Sélection et tri	○ Critères d'inclusion : Articles traitant des thèmes relatifs aux technologies de l'I4.0 de tout ou partie du MLSC. ○ Critères d'exclusion : Documents de travail, documents/actes de conférence, rapports d'entreprise/d'industrie, rapports de marché, éditoriaux et rapports de nouvelles, articles rédigés dans une langue autre que l'anglais.	254
Étape 3 : Sélection et tri raffinés	○ Critères d'inclusion : L'article devrait être publié dans le classement ABDC/ABS ou publié dans des revues consacrées aux technologies de l'I4.0 et MLSC. ○ Pour les autres revues : Les articles doivent avoir une qualité perçue de pertinence, de rigueur et de lisibilité (en prenant en considération le H index et SC Imago).	79

(Source : Élaboration des auteurs)

1.3.4 Analyse et synthèse des résultats

Dans la quatrième étape, les articles choisis et évalués à l'étape précédente ont été analysés et synthétisés. À cette étape, une classification systématique prédéterminée des données a été utilisée pour extraire les principaux détails de chaque étude et permettre à plusieurs chercheurs de participer au processus (Denyer and Tranfield, 2009; Thomé et al., 2016). Par conséquent,

toutes les données individuelles non pertinentes sont réduites (Thomé et al., 2016), pour assurer l'uniformité et l'exactitude des résultats.

Ainsi, nous avons divisé les 79 articles en morceaux élémentaires basés sur un ensemble spécifique de caractéristiques liées à notre question de recherche principale. Voici toutes ces caractéristiques : le sujet de l'étude lié au MLSC (production, supply chain, marketing et logistique); les sous-domaines connexes de l'étude; les technologies de l'I4.0 appliquées; et les résultats de l'étude. Pour le résumé, nous avons tenté de découvrir et de définir les relations entre les différents critères.

1.3.5 Présentation et utilisation des résultats

La présentation des résultats de l'analyse finale et de la synthèse documentaire est l'étape finale. Les résultats de cette étude sont consignés sous forme de statistiques, de tableaux et de discussions pour atteindre l'objectif de cette étude. La discussion sur les résultats et l'identification des lacunes existantes dans la recherche et la section sur les lignes de recherche futures, telle que proposée par (Denyer and Tranfield, 2009; Durach et al., 2017; Okoli and Schabram, 2010), comprend un aperçu de la littérature analysée en termes de données extraites, mettre l'accent sur ce qui est connu et ce qui est inconnu en ce qui concerne la question de recherche.

1.4 Analyse et synthèse

La phase d'analyse et de synthèse des données commence après la collecte appropriée des articles pertinents. L'analyse vise à décomposer chaque étude en ses propriétés structurelles et à caractériser les corrélations globales, tandis que la synthèse vise à trouver des liens entre les différentes sections de recherche (Tranfield et al., 2003). Les sous-sections suivantes décrivent l'analyse et la synthèse de cette étude.

1.4.1 Distribution et statistiques

La figure 10 montre que 10 % du total des articles sélectionnés pour examen sont liés au marketing, 19 % à la logistique, 33 % à la production et 38 % au supply chain dans son ensemble. La documentation pour cette étude a été recueillie auprès de 26 journaux entre 2010 et 2021, comme le montre la figure 11. Le tableau 6 présente une liste des contributions de chaque journal.

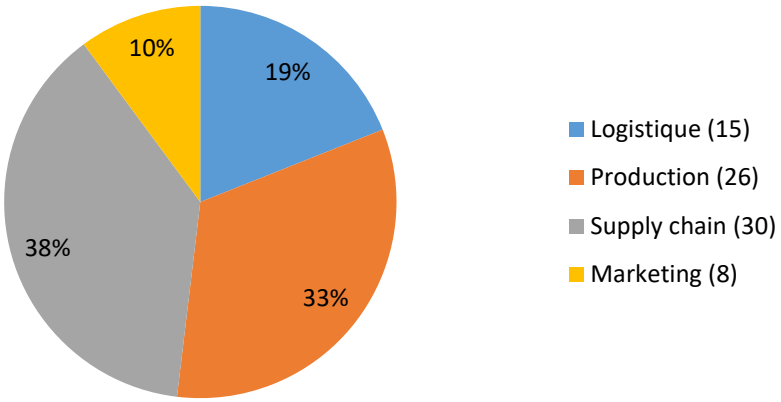


Figure 10: Répartition des différents articles dans les champs du MLSC.

(Source: Élaboration des auteurs)

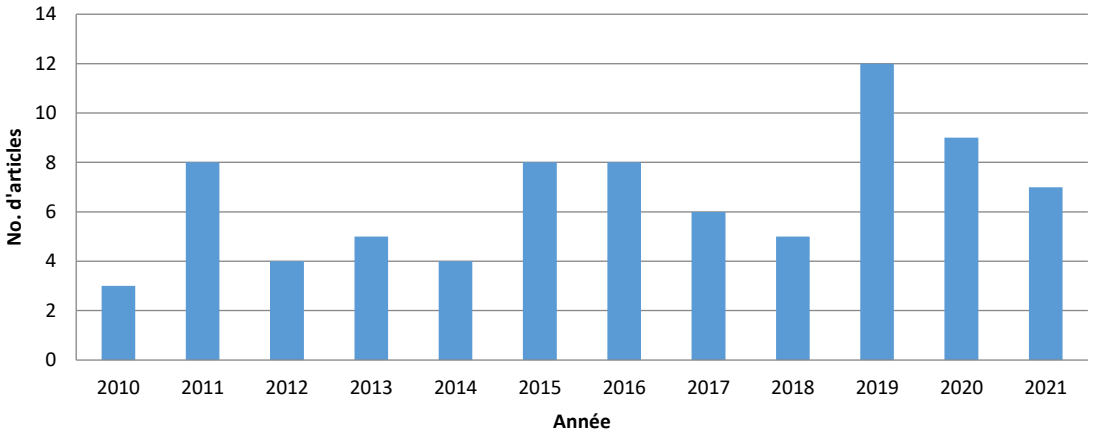


Figure 11: Répartition de la recherche sur le MLSC et l'I4.0 tout au long de la période d'étude.

(Source : Élaboration des auteurs)

Tableau 6: Classification de la littérature par journal.

Journale	Articles	% Du Total
INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTION RESEARCH	*16*	**20%**
PRODUCTION PLANNING AND CONTROL	*7*	**9%**
INTERNATIONAL JOURNAL OF SUPPLY CHAIN MANAGEMENT	*6*	**8%**
JOURNAL OF MANUFACTURING TECHNOLOGY MANAGEMENT	*5*	**6%**
INTERNATIONAL JOURNAL OF LEAN SIX SIGMA	*4*	**5%**
PROCEDIA MANUFACTURING	*4*	**5%**

SUPPLY CHAIN MANAGEMENT	*4*	**5%**
EXPERT SYSTEMS WITH APPLICATIONS	*3*	**4%**
IEEE ENGINEERING MANAGEMENT REVIEW	*3*	**4%**
INTERNATIONAL JOURNAL OF BUSINESS PERFORMANCE AND SUPPLY CHAIN MODELLING	*2*	**3%**
INTERNATIONAL JOURNAL OF INFORMATION SYSTEMS AND SUPPLY CHAIN MANAGEMENT	*2*	**3%**
INTERNATIONAL JOURNAL OF INTEGRATED SUPPLY MANAGEMENT	*2*	**3%**
INTERNATIONAL JOURNAL OF LOGISTICS SYSTEMS AND MANAGEMENT	*2*	**3%**
INTERNATIONAL JOURNAL OF OPERATIONS AND PRODUCTION MANAGEMENT	*2*	**3%**
INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTIVITY AND PERFORMANCE MANAGEMENT	*2*	**3%**
INTERNATIONAL JOURNAL OF QUALITY AND RELIABILITY MANAGEMENT	*2*	**3%**
INTERNATIONAL JOURNAL OF VALUE CHAIN MANAGEMENT	*2*	**3%**
JOURNAL OF BUSINESS LOGISTICS	*2*	**3%**
LOGISTICS JOURNAL	*2*	**3%**
IEEE SOFTWARE	*1*	**1%**
IEEE TRANSACTIONS ON ENGINEERING MANAGEMENT	*1*	**1%**
INTERNATIONAL JOURNAL OF APPLIED MANAGEMENT SCIENCE	*1*	**1%**
INTERNATIONAL JOURNAL OF AUTOMOTIVE TECHNOLOGY AND MANAGEMENT	*1*	**1%**
INTERNATIONAL JOURNAL OF BUSINESS SCIENCE AND APPLIED MANAGEMENT	*1*	**1%**
INTERNATIONAL JOURNAL OF INDUSTRIAL ENGINEERING: THEORY APPLICATIONS AND PRACTICE	*1*	**1%**
INTERNATIONAL JOURNAL OF LOGISTICS RESEARCH AND APPLICATIONS	*1*	**1%**
Total	**79**	**100%**

(Source: Élaboration des auteurs)

1.4.2 Analyse qualitative de la littérature

Le tableau 7 classe les différents articles selon les principaux secteurs du MLSC : logistique, supply chain, production et marketing. Et décrit Les sous-domaines et les éléments de chaque classe.

Tableau 7: Classification de la littérature par domaine d'étude.

Domaine	sous-domaines	activité	Source
Logistique	Entreposage		(Pereira et al., 2021)
	Transport	Ordonnancement Rélocalisation Couloir de transport	(He et al., 2021), (Lampón et al., 2015),(Moufad and Jawab, 2019) (Hannola et al., 2014)
	Gestion des stocks	Contrôle Système de réapprovisionnement Planification de la production	(Ramos et al., 2020) (Chakrabarty and Wang, 2021) (Sharma and Kulkarni, 2016) (Dallasega et al., 2017)
	Processus logistiques	Cartographie de la chaîne de valeur Logistique interne Opérations de distribution	(Busert and Fay, 2019) (Knoll et al., 2019) (Sanchez Rodrigues and Kumar, 2019)
	Logistique de production agile	Transporteurs autonomes Flux de traction Logistique Lean Systèmes de flux de travail	(Mehrsai et al., 2014) (Rehm et al., 2013) (Lee et al., 2011)
	Approvisionnement	Planification, calendriers de livraison	(Jawab et al., 2001; Mungan et al., 2010)
Supply Chain	Système Supply chain en construction	Juste à temps Juste en séquence	(Jain et al., 2011) (Wagner and Silveira-Camargos, 2011),(Dallasega, 2018)
	Opérations lean	Amélioration du rendement Management Enquête Levier de valeur Pensée Lean	(Haddud and Khare, 2020) (Müller and Birkel, 2020) (Tortorella et al., 2019) (Kumar et al., 2015) (Vlachos, 2015)
	Supply chain écologique et lean	Stratégie dynamique Résilience Coopération Industrie automobile Stratégies du supply chain Production lean Management lean du supply chain	(Mekhum, 2020), (Duarte and Cruz-Machado, 2019),(Qamar et al., 2018) ,(Kasi-Sarpong et al., 2016), (Cabral et al., 2012), (Moyano-Fuentes et al., 2012), (van Blokland et al., 2012) (Galankashi et al., 2018) (Duarte and Cruz Machado, 2017) (G.A. Marodin et al., 2016) (Núñez-Merino et al., 2020)
	Supply chain leagile (lean +agile)		(Iyengar and Bharathi, 2018)

		Intégration juste à temps	(Othman et al., 2016)
	Qualité	Management de la qualité Management de la qualité totale (MQT)	(Kaur et al., 2019) Hussain and Van Waveren (2010), (Jermsittiparsert et al., 2019)
	Réseau		(Mishra and Sharma, 2014)
	Stratégie du supply chain		(Nag et al., 2014)
		Supply chain basé sur la traction	(González et al., 2013)
	Gestion des risques liés au supply chain		(Singhal et al., 2011), (Thun et al., 2011)
		générle	(Hiraoka, 2011)
Production	Lignes d'assemblage	Fabrication sur commande	(Schulze and Dallasega, 2021)
	Production lean	Pensée lean	(Bittencourt et al., 2021)
		Production Lean Calcul	(Ciano et al., 2021), (Hotrawaisaya et al., 2019) (Booch, 2015)
		Kanban	(Baradaran and Akhavan, 2019)
	Manufacturing	Système Performance commerciale Production lean Excellence opérationnelle Management lean de l'information Mise en œuvre du lean	(Chiarini et al., 2020), (Karre et al., 2017) (Kumar et al., 2016), (Li et al., 2011) (Büyüközkan et al., 2015),(Bevilacqua et al., 2015) Mund et al.(2015),(Saleeshya et al., 2015),(Wakchaure et al., 2010) (Minovski et al., 2021)
	Qualité	Performance en matière de flexibilité Analyse	(Qamar et al., 2020),(Gangidi, 2019)
	Systèmes de management intelligents	IdO et le Big data	(Roy and Roy, 2019)
	Planification de la production	Prévision de la demande	(Yildiz et al., 2016)
	Planification du processus		(Trstenjak and Cosic, 2017)
	Gestion intégrée de la production	Simulation Efficacité de la chaîne de valeur	(Bloechl et al., 2017) (Viskari and Kärri, 2013)
	Production lean et agile	Flexibilité Cartographie de la chaîne de valeur	(Qamar et al., 2018) (Jiménez et al., 2012)
	Lean Six Sigma et production écologique	Surveillance	(Cherrafi et al., 2017)

Marketing	Vente au détail	Sélection des fournisseurs	(Kaushik et al., 2020)
	Comportement du client	Ordonnancement Production basée sur les commandes des clients	(Emde and Zehtabian, 2019) (Vázquez et al., 2016) (Borgström and Hertz, 2011)
	Finance	Coopération actif	Vázquez et al.(2016), (Fawcett et al., 2016)
	Tarification	Optimisation des coûts	(Ilgin and Noche, 2013)
	Segmentation	sélection des fournisseurs	(Parthiban et al., 2013)

(Source: Élaboration des auteurs)

Au total, nous avons 15 articles qui appartiennent au domaine de la logistique. (Pereira et al., 2021) examinent comment l'identification par radiofréquence (IDRF) et les systèmes de code-barres peuvent améliorer l'efficacité des entrepôts Lean. Trois articles traitent du transport, (He et al., 2021) abordent les problèmes de planification intégrée de la production et du transport dans le contexte du supply chain des pièces de rechange en utilisant la planification des besoins en matériel (PBM) avec des systèmes de livraison JAT, (Lampón et al., 2015) proposent un modèle basé sur l'IA pour faciliter le projet de rélocalisation, et (Hannola et al., 2014) utilisent le Big Data (BD) et les systèmes de flux de travail pour proposer un système pour terminer le couloir de transport. Dans la gestion des stocks, (Ramos et al., 2020) proposent un modèle en temps réel pour contrôler les niveaux d'inventaire en utilisant des systèmes cyber-physiques (SCP) et l'internet des Objets (IdO). (Chakrabarty and Wang, 2021) traitent de la variation du marché boursier et des niveaux d'inventaire en utilisant le cloud computing et les véhicules autonomes, (Sharma and Kulkarni, 2016) utilisent l'automatisation incorporant la base de données MIMOSA et les référentiels de connaissances basés sur l'ontologie lorsqu'ils proposent un cadre de système de réapprovisionnement des pièces de rechange. Dans le domaine de la planification de la production sur commande, (Dallasega et al., 2017) proposent une approche de planification de la production en temps quasi réel soutenue par les technologies de l'information et de la communication (TIC), qui, à l'aide d'une simulation, montre une réduction drastique du niveau des stocks sur place. Dans les processus logistiques, (Busert and Fay, 2019) adoptent des interfaces des systèmes informatiques pour contrôler la cartographie logistique du flux de valeur, (Knoll et al., 2019) proposent une méthodologie qui combine des techniques d'exploration multidimensionnelle des processus (EMDP) avec des principes éprouvés de la production lean et de la cartographie du flux de valeur en utilisant des données d'événements existantes en cartographiant automatiquement les activités logistiques physiques. Dans la logistique de production, (Sanchez Rodrigues and Kumar, 2019) abordent les désalignements Lean et écologiques dans les opérations de distribution en utilisant des réseaux neuronaux artificiels (RNA). (Mehrsai et al., 2014) passent en revue les techniques du lean et d'agilité et abordent les contributions spécifiques de l'impression 3D à leurs cibles. (Rehm et al., 2013) abordent la logistique lean dans les systèmes de production modernes en utilisant des véhicules autonomes (VA) et un modèle de mesure basé sur des indicateurs quantifiés. (C. K. M. Lee et al., 2011) conçoivent et développent des systèmes de flux de travail logistique pour la gestion de la demande en utilisant l'IDRF. Et (Mungan et al., 2010) utilisent un modèle basé sur la technologie de pointe pour les calendriers d'approvisionnement et de livraison.

30 articles appartiennent au supply chain. (Jain et al., 2011) élaborent un modèle analytique pour les décisions au niveau fonctionnel, le programme entier non linéaire (PENL) à l'aide d'une technique d'analyse quantitative a été créé, et un programme de LINGO générique pour le PENL à l'aide de la direction générale a été élaboré en utilisant une approche liée pour l'efficience. (Wagner and Silveira-Camargos, 2011) utilisent l'heuristique à l'aide d'un modèle de décision pour déterminer dans quelles circonstances il est le plus souhaitable de passer de l'approche « juste à temps » à l'approche « juste en séquence » (JES). Dans la supply chain de la construction, (Dallasega, 2018) suggère un ensemble d'approches de l'I4.0 pour régler les problèmes liés aux tampons intermédiaires élevés, aux longs délais d'exécution et à un grand nombre de problèmes liés aux composants sur commande. Dans le cadre des opérations lean, (Haddud and Khare, 2020) examinent le niveau d'influence de certaines tendances technologiques sur la performance et le management de la supply chain, ainsi que l'effet potentiel de la digitalisation des supply chains sur les stratégies d'opérations lean. (Müller and Birkel, 2020) proposent un modèle d'interdépendance horizontale et verticale basé sur les systèmes cyber-physiques (SCP) et l'Internet des Objets (IdO), ainsi que les potentiels de l'I4.0 pour la gestion lean au sein des six dimensions du modèle ROSC (référence des opérations de la supply chain). Par exemple, dans l'industrie brésilienne, (Tortorella et al., 2019) évaluent l'impact modérateur de l'adoption des technologies de l'I4.0 sur l'interaction entre les techniques du management lean de la supply chain (MLSC) et l'amélioration des performances du supply chain. (Kumar et al., 2015) développent un modèle théorique qui explique les caractéristiques de la fabrication lean et du supply chain en utilisant l'approche de modélisation des équations structurelles ; le modèle a été analysé à l'aide du logiciel AMOS 20 et les données sont recueillies auprès d'experts de l'industrie par le biais d'un questionnaire d'enquête. (Vlachos, 2015) propose une approche d'évaluation adaptative basée sur le Web et la pensée lean pour améliorer les supply chains alimentaire des petites et moyennes entreprises (PME). Les supply chains lean et écologiques sont abordées dans un grand nombre d'articles dans ce domaine. (Mekhum, 2020) effectue une modélisation par équation structurelle pour évaluer la contribution de diverses techniques du MSC à la durabilité environnementale. (Duarte and Cruz-Machado, 2019) utilisent un modèle basé sur la réalité virtuelle (RV) pour développer la supply chain d'une organisation axée sur un concept écologique et lean intégré. (Qamar et al., 2018) proposent une théorie des contingences (TC) basée sur des régressions logistiques pour déterminer la probabilité que les organisations lean et agile appartiennent à des catégories distinctes en fonction des éléments contextuels étudiés. (Kusi-Sarpong et al., 2016) proposent un cadre complet pour le management durable de la supply chain (MDSC) à l'aide de technologies et de systèmes d'information écologique. (Cabral et al., 2012) suggèrent un modèle intégré de processus de réseau analytique (PRA) lean, agile, résilient et écologique (LARE) pour aider à la prise de décision dans la sélection des meilleures approches et des indicateurs clés de performance (ICP) pour les industries dans une SC, et plusieurs études explorent certaines des utilisations et des exemples d'outils de l'I4.0 incorporés dans un cadre des TIC. Moyano-Fuentes et al., 2012; Galankashi et al.2018; and Othman et al., 2016 proposent un modèle théorique basé sur l'analyse de régression pour évaluer l'effet de l'intégration de la supply chain et du juste-à-temps (JAT). (Duarte and Cruz Machado, 2017) fournissent un cadre pour évaluer les organisations en termes de mise en œuvre de la supply chain de manière écologique et lean, (G.A. Marodin et al., 2016) évaluent l'utilisation de l'informatique dans la mise en œuvre des méthodes lean à différents points de la supply chain. (van Blokland et al., 2012) développent un modèle préliminaire qui améliore l'effet de levier de valeur des fabricants d'équipements originaux (FEO) focaux envers les fournisseurs dans la supply chain, ce qui contribue de manière significative à l'exposition pratique de la fabrication

lean, de l'innovation ouverte, des réseaux de valeur et de la gestion de la la supply chain. (Núñez-Merino et al., 2020) fournissent une méthode générale de l'IdO dans le MLSC basée sur le cycle de vie de la technologie (IdO obsolète dans le MLSC, IdO mature dans le MLSC ; IdO émergent dans le MLSC, etc.) En management de la qualité, (Iyengar and Bharathi, 2018) réalisent une revue bibliométrique sur les supply chains lean, agile et leagile (lean +agile). (Jermsittiparsert et al., 2019) abordent un modèle basé sur l'IA pour atténuer les problèmes de qualité dans les entreprises de la supply chain, (Kaur et al., 2019) proposent un concept basé sur l'informatique pour faciliter la transfusion du MQT (management de la qualité totale) et du MSC, et (Hussain and Van Waveren, 2010) étudient les différences entre les fournisseurs de premier et de second rangs en termes de mise en œuvre des principes du management de la qualité totale (MQT) en utilisant la base de données de l'Association nationale des fabricants de composants automobiles et de leurs alliés (ANFCAA) en Afrique du Sud comme étude de cas. (Mishra and Sharma, 2014) proposent un cadre hybride (fournisseurs, intrants, processus, sortie et clients + définir, mesurer, analyser, innover et contrôler (FIPS+DMAIC)) en utilisant la technologie informatique pour améliorer les dimensions du processus du MSC dans un réseau de la supply chain (SC). (Nag et al., 2014) présentent un cadre de simulation pour la cartographie des stratégies d'inventaire des supply chains entrantes et sortantes. (Shaaban et al., 2013) proposent une méthodologie pour la conception et l'exploitation d'un mécanisme de coopération juste à temps pour contrôler le flux de matériel dans la supply chain en utilisant la simulation à événements discrets et l'algorithme d'entropie croisée (EC). (Singhal et al., 2011) explorent la collection de la littérature sur le management des risques de la supply chain (MRSC) en s'appuyant sur la collaboration, la pensée stratégique et les défis de mise en œuvre du MRSC par secteur en utilisant une taxonomie de ville supérieure à plusieurs niveaux. Dans une étude, (Thun et al., 2011) utilisent le big data (BD) pour analyser le management des risques de la supply chain dans les petites et moyennes entreprises (PME). Enfin, (Hiraoka, 2011) souligne l'importance de la technologie de pointe dans la reconstruction des supply chains pour être compétitif au niveau mondial en termes de coûts.

Au total, 26 articles sont liés à la production. (Schulze and Dallasega, 2021) abordent les barrages routiers de la mise en œuvre du lean et les problèmes d'assemblage sur site en utilisant l'intelligence artificielle. Quatre articles portent sur la production lean : (Bittencourt et al., 2021) évaluent certaines approches stratégiques de la réalité virtuelle et augmentée dans la production lean, (Ciano et al., 2021) fournissent un cadre pour mesurer l'effet de la production lean (PL) sur l'industrie 4.0 en se basant sur l'analyse individuelle. (Hotrawaisaya et al., 2019) étudient l'impact des stratégies de production lean sur la performance et la rentabilité des entreprises manufacturières en Thaïlande en médiant le rôle de la mise en œuvre de l'I4.0, et (Booch, 2015) examinent le co-développement de l'informatique et de l'industrie et le rôle critique de l'être humain dans la réussite de cette collaboration. (Baradaran and Akhavan, 2019) traitent certains paramètres du système Kanban en utilisant un modèle mathématique d'optimisation à deux niveaux avec des objectifs non linéaires, un modèle d'algorithme génétique pour résoudre les problèmes d'entrepôt et d'inventaire, et un modèle de simulation pour évaluer la capacité, la viabilité et l'intégrité des solutions. (Chiarini et al., 2020) et (Karre et al., 2017) traitent des systèmes de fabrication en utilisant les technologies de l'I4.0 les plus performantes. (Kumar et al., 2016) et (Li et al., 2011) explorent l'influence de la combinaison de la méthodologie de production au plus juste dans la supply chain de l'organisation avec les technologies de fabrication avancée sur la performance organisationnelle. Dans la production lean, (Büyüközkan et al., 2015) utilisent le Réseau de Croyance Bayésien (RCB) pour aborder le problème de l'effet de la fabrication agile et lean sur la performance de l'entreprise, tandis que (Bevilacqua et al., 2015), abordent le concept de la pensée lean pour gérer l'information

dans les zones de fabrication et de production en utilisant les technologies de l'information et la robotique. Trois articles se concentrent sur l'excellence opérationnelle en utilisant l'ingénierie numérique. Par exemple, (Mund et al., 2015) proposent un cadre pour le système de développement des produits lean (SDPL) de Toyota en utilisant la technologie de fabrication et de conception virtuelles. (Saleeshya et al., 2015) mettent en œuvre un algorithme génétique (AG) distribué pour aborder les problèmes de pénurie de pièces et de retards de processus dans la fabrication et l'assemblage de machines d'impression offset, et (Wakchaure et al., 2010) proposent un cadre conceptuel basé sur la fabrication assistée par ordinateur (FAO). (Minovski et al., 2021) proposent une méthodologie basée sur les technologies de l'information pour mettre en œuvre efficacement les outils lean. (Qamar et al., 2020) explorent les questions de qualité et de flexibilité dans la production lean et agile en utilisant des systèmes et des technologies émergents. (Gangidi, 2019) utilise une méthodologie basée sur l'IA avec une analyse de force-faiblesse-opportunité-menace (FFOM (*en anglais SWOT*)) pour fournir des résultats formidables dans l'atténuation des défauts, l'amélioration du rendement et l'optimisation de l'efficacité opérationnelle. (Roy and Roy, 2019) explorent la feuille de route des systèmes de gestion intelligents (SGI) en utilisant l'Internet des objets, le Big Data et la planification des ressources de l'entreprise (PRE). Dans le domaine de la planification de la production, (Yildiz et al., 2016) proposent un modèle d'optimisation qui étend les approches précédentes axées sur l'optimisation des plans de production au cadre JAT en utilisant des heuristiques. (Trstenjak and Cosic, 2017) présentent un "logiciel de planification des produits" comme une nouvelle approche de la planification des processus, de la structuration des opérations et de la gestion en utilisant les éléments clés de l'environnement de l'I4.0 (la gestion du big data, les Systèmes Cyber-Physiques (SCP), l'internet des objets et le cloud computing. En gestion de la production, (Bloechl et al., 2017) réalisent un jeu de simulation pour enseigner et former l'application du lean et de l'I4.0 dans les environnements de production. (Viskari and Kärri, 2013) présentent un modèle de gestion du fonds de roulement (GFR) basé sur un réseau de neurones artificiels pour évaluer l'efficacité de la gestion du fonds de roulement. Dans le domaine de la production lean et agile, (Qamar et al., 2018) utilisent la notion de modèles d'affaires distincts et de compromis pour fournir une façon innovante de construire des organisations lean et agiles, tandis que (Jiménez et al., 2012) abordent l'application des systèmes de production lean dans les processus de fabrication continue en utilisant l'intelligence artificielle. Et enfin, (Cherrafi et al., 2017) fournissent une méthodologie qui aide méthodiquement les entreprises à combiner et à appliquer les concepts écologiques, lean et six sigma pour améliorer leur performance en matière de durabilité en utilisant l'échange électronique de données.

Huit articles appartiennent au domaine du marketing. (Kaushik et al., 2020) proposent une Meilleure Pire méthodologie (MPM) intégrée – une méthodologie de prise de décision multicritères (PDMC) pour la sélection des fournisseurs dans le domaine de la vente au détail de mode en ligne (VDL). Trois articles s'appuient séparément sur le comportement des clients : (Emde and Zehtabian, 2019) utilisent des algorithmes heuristiques pour proposer un modèle de programmation en nombres entiers mixtes pour les problèmes de temps d'attente des clients et de planification, (Massoudi, 2019) utilise une approche descriptive et analytique pour améliorer la réponse des clients en utilisant l'exploration de données, et (Borgström and Hertz, 2011) étudient les défis et la volatilité de la stratégie leagile mixte dans la production basée sur les commandes des clients en utilisant l'industrie automobile longitudinale comme étude de cas. Deux articles traitent de la finance : (Vázquez et al., 2016) examinent comment les technologies de l'information peuvent améliorer la coopération financière, et (Fawcett et al., 2016) utilisent les technologies de l'information pour établir des hypothèses sur la relation

entre le lean-agilité des actifs et la performance financière. (Ilgin and Noche, 2013) développent un concept pour contrôler les coûts de non-valeur ajoutée dans les systèmes en couplant l'optimisation linéaire et la simulation. Enfin, (Parthiban et al., 2013) fournissent une approche intégrée pour résoudre le problème de sélection des fournisseurs en utilisant plusieurs méthodes de prise de décision multicritères (PDMC) telles que la logique floue (LF), l'analyse force-faiblesse-opportunité-menace (FFOM) et l'analyse d'enveloppement des données.

L'avènement des technologies de l'industrie 4.0 a engendré une transformation significative dans le domaine du management de la supply chain. Ces technologies, telles que l'Internet des objets (IdO), la robotique avancée, l'intelligence artificielle et l'analyse de données en temps réel, ont créé de nouvelles opportunités et des défis complexes pour la gestion des opérations de la supply chain (Almada-Lobo, 2015; Rehali et al., 2023). La convergence de ces innovations a permis une connectivité accrue entre les acteurs de la supply chain, favorisant ainsi une meilleure visibilité des processus, une prise de décision plus éclairée et une réduction des inefficacités (Jaouhari et al., 2023).

1.4.3 Technologies de l'I4.0 utilisées dans l'état de l'art

Les technologies de l'I4.0 mises en œuvre ou mentionnées sont un autre facteur sur lequel se fonde la littérature examinée. L'I4.0 est défini comme une adoption systématique de technologies de pointe (Frank et al., 2019), et toutes les technologies de l'information impliquées dans l'industrie pour améliorer l'efficience et l'efficacité afin de se conformer à la connectivité donnée par l'internet sont considérées comme des technologies de l'I4.0 (Drath and Horch, 2014; Ghobakhloo, 2020).

Le tableau 8 présente les technologies de l'I4.0 appliquées dans chaque domaine de l'étude, et le tableau 9 présente toutes les technologies de l'I4.0 utilisées, ainsi que leur fréquence.
Le thème de la supply chain est le plus varié en termes de technologies de l'I4.0 utilisées, en raison de l'aspect pratique de la littérature dans ce domaine, qui comprend souvent des études empiriques, des études de cas et des recherches qualitatives et quantitatives. Avec 23 outils utilisés de l'I4.0, l'IdO, la BD, l'IA, le CC et les SCP sont les technologies les plus utilisées dans la supply chain. La production est le deuxième domaine le plus large, avec 26 articles et 13 outils de l'I4.0. Dans ce domaine, les SCP, la robotique et la BD sont assez répandues. La logistique est le troisième domaine le plus diversifié en termes de technologies, les SCP, l'IA et l'IDRF étant les plus importantes. Enfin, avec 7 technologies issues de huit articles, le marketing est le domaine le moins diversifié.

Le tableau 9 montre le nombre total d'outils de l'I4.0 apparus dans l'ensemble de la littérature. Mais comme la majorité des articles utilisent plusieurs technologies de l'I4.0, le nombre total d'outils de l'I4.0 dépasse le nombre total d'articles. Plus précisément, 14 (17,7%) articles utilisent une seule technologie de l'I4.0, 12 (15,2%) articles utilisent deux technologies de l'I4.0, sept (8,9%) articles utilisent plusieurs technologies de l'I4.0 et 46 (58,2%) articles adoptent une perspective plus large des technologies de l'I4.0.

Tout d'abord, nous devons considérer l'IdO (utilisé 23 fois) comme la technologie de l'I4.0 la plus omniprésente, qui est considérée comme une technologie centrale de l'I4.0 car elle permet d'examiner en temps réel l'ensemble du système [(Kirk, 2015a),(Qiuping et al., 2011),(Thibaud et al., 2018),(Lu et al., 2018)]. La big data et l'intelligence artificielle, arrivent en deuxième position (19 fois chacune), peut-être en raison de l'étendue de leurs applications. Le cloud

computing est la troisième technologie la plus populaire (15 fois), suivie par les technologies de l'information (TI) (six fois), les SCP, la robotique et l'IDRF (10 fois chacune), la réalité augmentée, la réalité virtuelle, les véhicules autonomes et l'impression 3D (quatre fois chacune), la planification des ressources de l'entreprise (PRE), la fabrication additive, les technologies de fabrication avancées et l'Internet des services (deux fois chacune). Les autres technologies – les réseaux neuronaux artificiels, les systèmes et technologies émergents, les technologies Web pour le commerce électronique, la technologie des capteurs intégrés, le GPS, les systèmes de codes-barres, l'échange de données informatisées, les systèmes d'information géographique et les réseaux de capteurs-actionneurs - sont utilisées une fois.

Tableau 8: La catégorisation des technologies de l'I4.0 en fonction des domaines.

Domaine	Les Technologies de l'I4.0
Logistique	1. l'IdO (5)
	2. les systèmes Cyber-physical (2)
	3. l'Identification par radio-fréquence (5)
	4. le Cloud computing (4)
	5. les Systèmes de codes-barres (4)
	6. l'Intelligence artificielle (3)
	7. le Big data (6)
	8. les Technologies de l'information (2)
	9. les Véhicules autonomes (2)
	10. l'Impression 3D (1)
	11. le Réseau neuronal artificiel (1)
Production	1. l'IdO (9)
	2. la Robotique (8)
	3. le Big data (6)
	4. l'Intelligence artificielle (5)
	5. les Systèmes cyber-physiques (4)
	6. l'Impression 3D (3)
	7. l'Apprentissage automatique (3)
	8. la Réalité augmentée (2)
	9. la Fabrication additive(2)
	10. la Réalité virtuelle (2)
	11. les Technologies de fabrication avancées (2)
	12. les technologies de l'information (2)
	13. les systèmes et technologies émergents (1)
Supply chain	1. l'IdO (9)
	2. le Big Data (7)
	3. l'Intelligence artificielle (6)
	4. les Technologies de l'information (2)
	5. le Cloud computing (4)
	6. l'Identification par radiofréquence (5)

	7.	les Systèmes cyber-physiques (4)
	8.	la Réalité augmentée (2)
	9.	la Robotique (2)
	10.	la Réalité virtuelle (2)
	11.	les Véhicules autonomes (4)
	12.	la Planification des ressources de l'entreprise (2)
	13.	les réseaux de capteurs-actionneurs (1)
	14.	l'Internet des services (1)
	15.	le Système d'information géographique (1)
	16.	l'Impression 3D (1)
	17.	les Systèmes de flux de travail (1)
	18.	le GPS (1)
	19.	les Systèmes de codes à barres (1)
	20.	l'Échange de données électroniques (1)
	21.	les Technologies de l'information (1)
	22.	la Technologie des capteurs embarqués (1)
	23.	les Technologies Web pour le E-commerce (1)
Marketing	1.	l'intelligence artificielle (5)
	2.	le Cloud computing (4)
	3.	la Planification des ressources de l'entreprise (1)
	4.	les Technologies Web pour le E- commerce (1)
	5.	les Systèmes et technologies émergents (1)
	6.	L'Internet des services (1)
	7.	le Système d'information géographique (1)

(Source: Élaboration des auteurs)

Tableau 9: La fréquence totale des technologies de l'I4.0 utilisées.

Les Technologies de l'I4.0	Nombre
L'IdO	23
Intelligence artificielle	19
Le Big data	19
Le Cloud computing	15
L'IDRF	10
Les Systèmes cyber-physiques	10
La Robotique	10
Les Technologies de l'information	6
Les Véhicules autonomes	4
L'Impression 3D	4
La Réalité virtuelle	4
La Réalité augmentée	4

Internet des services	2
La Planification des ressources de l'entreprise	2
Les Technologies de fabrication avancées	2
La Fabrication additive	2
Les Systèmes de codes-barres	1
L'Échange de données électroniques	1
Le Système d'information géographique	1
Les Technologie des capteurs embarqués	1
Les Technologies Web pour le E- commerce	1
Les systèmes et technologies émergents	1
Le GPS	1
Les réseaux de capteurs-actionneurs	1
Le Réseau neuronal artificiel	1

(Source: Élaboration des auteurs)

1.4.4 Résultats de l'analyse et synthèse

Les résultats de la recherche sont une autre caractéristique que nous avons analysée. Chaque étude a un résultat unique (une approche, un cadre, une méthodologie, etc.). Le tableau 10 énumère tous les résultats de la recherche, qui sont classés par domaine. Les études théoriques/philosophiques produisent des théories, des recherches historiques, des prévisions, des analyses documentaires, des exemples, des concepts et des analyses critiques, tandis que les méthodologies, les algorithmes, les cadres, les méthodes, les modèles et les systèmes sont fréquemment développés dans le contexte de la recherche empirique/pratique. Par conséquent, nous constatons que la littérature choisie sur la logistique a une orientation expérimentale, car la plupart des résultats ont les mêmes formes que celles qui viennent d'être décrites. En outre, alors qu'environ 12 % seulement de la recherche sur la production a produit des résultats théoriques/philosophiques, la majorité des résultats dans ce secteur sont empiriques/pratiques. La supply chain est considérée comme ayant une orientation empirique/pratique pour la même raison. Enfin, dans le domaine du marketing, le nombre de résultats empiriques et théoriques est égal.

Tableau 10: Distribution des résultats.

Domaine	Résultat	Nombre	%
Logistique	Évaluation et analyse	1	6,7
	algorithme	1	6,7
	Modèle	3	20,0
	Méthode	1	6,7
	Concept	1	6,7
	Approche	1	6,7
	Étude de cas	2	13,3
	Revue de la littérature	1	6,7
	Cadre de travail	2	13,3

	Algorithme	1	6,7
	Méthodologie	1	6,7
Production	Concept	1	3,8
	Application et exemple	2	7,7
	Revue de la littérature	2	7,7
	Étude de cas	7	26,9
	Concept et application	1	3,8
	Approche	1	3,8
	Simulation	4	15,4
	Système	1	3,8
	Étude comparative	1	3,8
	Cadre de travail	4	15,4
	Outil d'évaluation	2	7,7
Supply chain	Analyse documentaire	7	23,3
	Outil d'évaluation	1	3,3
	Modèle	5	16,7
	Scénario d'application	3	10,0
	Feuille de route	1	3,3
	Étude comparative	2	6,7
	Simulation	1	3,3
	Approche	1	3,3
	Étude de cas	4	13,3
	Architecture	1	3,3
	Méthodologie	1	3,3
	Application et comparaison	1	3,3
	Cadre de travail	2	6,7
Marketing	Modèle	1	12,5
	Prévision	2	25,0
	Revue de la littérature	1	12,5
	Concept	1	12,5
	Approche	1	12,5
	Etude de cas	1	12,5
	Système	1	12,5

(Source: Élaboration des auteurs)

1.5 Discussion et orientations de la recherche

1.5.1 Discussion

Dans cette section, nous nous efforcerons de répondre à quatre questions de recherche qui visent à fournir une réponse plus claire et plus approfondie à la QR principale.

- *(QR 1) Quelles sont les technologies de l'I4.0 les plus utilisées dans la recherche sur le MLSC ?*

Plusieurs technologies de l'I4.0 peuvent être utilisées dans le MLSC, mais les résultats de nos recherches révèlent que certaines sont utilisées plus fréquemment que d'autres. L'IdO est la plus répandue et la plus importante. Il s'agit d'un système de dispositifs inter-corrélés et connectés à l'internet qui permet aux utilisateurs de gérer des informations sur un réseau sans fil à l'aide d'une architecture intégrée (Arif et al., 2020; Gubbi et al., 2013). (Fleisch, 2010) souligne l'importance de distinguer le concept de l'IdO de l'internet "standard", en affirmant que les terminaisons nerveuses de l'IdO sont minuscules. Dans le cadre du MLSC, ces applications s'étendent de la gestion des stocks, des systèmes de fabrication, de la planification de la production à la sélection des fournisseurs, des opérations lean, de la planification des processus et de la prévision de la demande. Selon (Atzori et al., 2010; El Jaouhari et al., 2022c), l'IdO devient de plus en plus pertinent dans les domaines commerciaux d'aujourd'hui. Cela est dû à sa capacité à traiter des données en temps réel en modifiant les processus traditionnels en tant que moteur et partie intégrante.

La deuxième technologie est l'IA, qui représente la capacité des machines à communiquer avec les humains et à imiter leurs capacités (Schutzer, 1990). L'utilisation de l'IA permet d'améliorer la prise de décision tant au niveau de la production que des affaires. L'IA n'est ni un nouveau sujet ni un nouveau champ de recherche scolastique (Huin et al., 2003) ; cependant, la présence de l'IA dans le discours savant influence de nombreux domaines, y compris la recherche en entreprise (Florez et al., 2015), qui s'est emparée du sujet, attirant l'attention en ajustant les systèmes dans plusieurs contextes [(Martínez-López and Casillas, 2013; Ko and Lee, 2013))]. Le MLSC a été identifié comme l'un des secteurs les plus à même de bénéficier des techniques de l'IA, comme le montre le niveau d'intérêt significatif des praticiens et des universitaires (comme en témoigne le grand nombre d'articles liés à l'IA, tels que [(Dubey et al., 2020; Haenlein and Kaplan, 2021; Vargas et al., 2015; Kumar, 2017)].

Une autre technologie utilisée dans la littérature du MLSC est la big-data, un mélange de données structurées, semi-structurées et non structurées recueillies par les entreprises qui peuvent être exploitées pour obtenir des informations (Moharm, 2019), ces informations sont essentielles pour extraire des idées significatives afin d'améliorer la performance et l'efficacité de la supply chain [(Bevilacqua et al., 2019; Roy and Roy, 2019)]. En termes du MLSC, la BD a été utilisée dans une variété d'études et à des fins multiples, telles que la détermination du nombre de livraisons de matériaux (Deng, 2019), des estimations précises du processus d'approvisionnement (Wang and Yue, 2017), la sélection des fournisseurs (Ferreira and Borenstein, 2011) et la fourniture d'un système d'aide à la décision (Min, 2015).

Plusieurs études utilisent le cloud computing, un paradigme permettant de fournir une connectivité réseau omniprésente, efficace et à la demande à un pool de ressources informatiques configurables (par exemple, les réseaux, les processeurs, le stockage, les logiciels et applications) qui peuvent être fournies et libérées rapidement avec un minimum de travail opérationnel ou d'intervention du fournisseur de services (Zhao et al., 2012). Le cloud computing a été employée dans la recherche sur le MLSC de plusieurs façons, notamment la gestion des risques de la supply chain (Jede and Teuteberg, 2015), le management leagile de la SC (Mason-Jones et al., 2000), les négociations du SC (Xu et al., 2018) et la gestion en temps réel des flux de travail [(Vazquez-Martinez et al., 2018; Sanders et al., 2016)].

Un autre outil de l'I4.0 fréquemment utilisé dans les études du MLSC est l'IDRF. L'identification par radiofréquence (IDRF) est une technique qui utilise les données de transmission radio d'une puce électronique, appelée étiquette IDRF, connectée à un dispositif, pour identifier et suivre l'objet à travers un lecteur (Wu et al., 2011). L'IDRF a été largement utilisée dans le MLSC et dans d'autres domaines pour résoudre divers problèmes (Arif et al., 2019, Azzouz et al., 2021). Des exemples d'applications concernent le suivi et la gestion des stocks (Tsai et al., 2013), l'automatisation de la supply chain (Alwadi et al., 2017), ainsi qu'une meilleure qualité de service et une réduction des coûts en générale (Ginters and Martin-Gutierrez, 2013).

Les résultats montrent que l'une des technologies de l'I4.0 les plus pertinentes dans la littérature du MLSC est le SCP, qui peut être considéré comme des systèmes qui relient conjointement les mondes réel et virtuel (Yuan et al., 2015). En tant qu'outil de l'I4.0, le SCP traite un large éventail de problèmes de décision combinatoire. Ces questions comprennent des défis de dilemme managérial liés aux activités de planification de la supply chain lean, d'approvisionnement, de fabrication, de livraison et de retour des produits et services. Par conséquent, les processus du SC lean atteignent un niveau plus élevé de contrôle, de suivi, de visibilité et d'efficacité (Ma et al., 2017).

Une autre technologie utilisée dans la littérature de l'I4.0-MLSC est la robotique, une combinaison de science, d'ingénierie et d'informatique qui crée des machines connues sous le nom de robots (Szafir et al., 2017). En termes du MLSC, ils ont été appliqués dans une grande variété d'études et à des fins différentes, comme l'alignement des activités de la supply chain de bout en bout (Lončarević et al., 2021), la réduction de la fréquence de vérification des stocks (Rodriguez-Gonzalez et al., 2019) et la diminution des dépenses d'entreposage (Rey et al., 2021).

En plus des technologies de l'I4.0 les plus significatives discutées jusqu'à présent, Il existe une variété de technologies différentes utilisées dans les études du MLSC, notamment les technologies de l'information, la réalité augmentée, la réalité virtuelle, les véhicules autonomes, la PRE, les technologies de fabrication avancée, les réseaux de capteurs-actionneurs, l'Internet des services, l'impression 3D, le GPS, les systèmes de codes-barres, la technologie des capteurs embarqués, les technologies Web pour le commerce électronique, les systèmes et technologies émergents, la fabrication additive et le réseau neuronal artificiel.

- *(QR 2) Quels sont les sous-domaines et les activités que les technologies de l'I4.0 devraient améliorer ?*

Les technologies de l'I4.0 sont essentielles pour révolutionner de nombreuses industries et domaines (Luthra and Mangla, 2018) afin d'accomplir des objectifs à long terme en termes de durabilité environnementale, sociale et économique (Ghobakhloo and Fathi, 2019). En tant que tels, environ tous les domaines du MLSC, ainsi que ses sous-domaines, sont exposés à être impactés par les outils de l'I4.0.

Si l'on prend l'exemple de la logistique, la logistique des soins de santé, les achats, la distribution et la gestion des plateformes logistiques sont ceux qui nécessitent le plus d'attention du point de vue des technologies de l'I4.0. Dans le domaine de la production, des sous-domaines tels que la gestion des projets agiles et lean, la gestion écologique des processus et

la gestion des risques de production peuvent être améliorés de manière significative grâce aux technologies de l'I4.0.

En ce qui concerne la supply chain, nos résultats montrent que la majorité des articles sur la supply chain axés sur les outils de l'I4.0 mettent l'accent sur la planification, la fabrication et la livraison, avec moins d'importance pour l'approvisionnement, le retour et l'activation. En fin de compte, les sous-domaines de la sélection des acheteurs, du réapprovisionnement automatisé, de la supply chain écologique, des fournisseurs et de l'intégration des clients peuvent tous bénéficier de manière significative du déploiement des technologies de l'I4.0. Enfin, dans le domaine du marketing, les sous-domaines tels que la segmentation du marché, la commercialisation des produits, la tarification des produits, la prise de décision marketing, les promotions et la vente sont des sujets importants à prendre en considération.

- *(QR 3) Quelles sont les technologies potentielles de l'I4.0 qui peuvent être utilisées dans les études du MLSC ?*

De nombreuses technologies de l'I4.0 n'ont reçu que peu ou pas d'attention de la part des chercheurs du MLSC, malgré leur pertinence potentielle pour être incluses dans les futures recherches sur le MLSC. L'une des plus prometteuses est l'internet des services (IdS), qui est une application d'internet qui élimine les obstacles traditionnels et les inefficacités dans l'accès aux services (Joseph and Chapman, 2009). À cet égard, des signes clairs montrent que, parallèlement à l'Internet des Objets (IdO), l'internet des services (IdS) est en train d'évoluer, en partant du principe que les services sont rendus facilement accessibles par des outils digitale (El Jaouhari et al., 2022c; Wahlster, 2014).

L'apprentissage automatique (AA) est une autre technologie de l'I4.0 qui n'a pas été utilisée à son plein potentiel dans le MLSC. Cette technologie permet à l'appareil de s'auto-former au fil du temps pour améliorer la précision de son algorithme. L'apprentissage automatique est une technique permettant d'améliorer la prise de décision et de réduire les inefficacités dans le processus de fabrication (Shahbazi and Byun, 2021). Cette technique peut être employée dans la supply chain, notamment en ce qui concerne le travail des détaillants et des fournisseurs.
La technologie de blockchain (BC) est un outil de recherche de voisinage qui constitue une base de données contenant l'historique de toutes les transactions effectuées entre ses utilisateurs depuis sa création (Ahmad et al., 2021), cette base de données est à la fois sûre et distribuée : elle est partagée par de multiples utilisateurs sans recours à un intermédiaire, permettant à quiconque de vérifier la validité de la chaîne (Wu et al., 2019). La technologie de la blockchain peut apporter la fiabilité, la visibilité et la responsabilité aux supply chains dont les acteurs sont inconnus ou indignes de confiance.

L'usine intelligente (UI) est un terme qui fait référence à l'intégration de nombreuses combinaisons de technologies avancées pour construire une capacité de production hyper-flexible et auto-adaptative (Büchi et al., 2020), En connectant diverses fonctions, flux d'informations et partenaires (employés de première ligne, décideurs, etc.) dans les usines intelligentes, de nouveaux types d'efficacité et de flexibilité peuvent être créés, par exemple, des processus dynamiques et plus efficaces, et des temps de cycle plus courts, ainsi qu'une estimation accrue de la demande, peuvent être attendus (Büchi et al., 2020).

Les technologies de l'information et de la communication (TIC) jouent un rôle prépondérant dans le MLSC, en raison de leur importance dans le renforcement de l'efficacité et de la

compétitivité des entreprises (Sulaiman V et al., 2012). Cette technologie avancée peut être observée dans des technologies bien connues qui sont largement employées par la plupart des entreprises, telles que la planification des ressources de l'entreprise (PRE), les systèmes de gestion d'entrepôt (SGE) (Tejesh and Neeraja, 2018), les systèmes de gestion des transports (SGT) et les systèmes de transport intelligents (STI) (El Mokaddem et al., 2019; Weber et al., 2014). Les TIC sont utilisées pour communiquer des informations entre les différentes parties prenantes (y compris les concurrents) dans l'écosystème de la SC, ce qui permet à l'organisation de prendre de meilleures décisions (Dalenogare et al., 2018).

- *(QR 4) Quels sont les principaux défis et occasions de mettre en œuvre l'I4.0 dans le MLSC ?*

Bien qu'à l'origine, l'I4.0 ait surtout été utilisé pour la fabrication, pour concrétiser la vision de l'I4.0 dans le MLSC, la connectivité entre les systèmes actuels doit être digitale. Cela permet l'échange de données en temps réel. Les processus traditionnels, coûteux et sujets à des erreurs, sont éliminés. L'I4.0 exige que les systèmes communiquent entre eux.

En ce qui concerne les défis technologiques, le premier obstacle est la nécessité de développer des technologies exploitées par l'I4.0, qui sont encore à un stade précoce et nécessitent de grandes avancées pour créer une solidité et générer de plus grands avantages (Sony et al., 2021; Wankhede and Vinodh, 2021). (De Giovanni and Cariola, 2021) ont identifié les différents modèles opérationnels parmi les membres du MLSC, et (Vukadinovic et al., 2021) ont reconnu les différentes dynamiques et structures temporelles des processus et équipements de fabrication qui peuvent compromettre la collecte, l'analyse et le partage des données ainsi que la programmation de toute la structure de production. Les différents formats et structures des données ajoutent des problèmes à l'analyse et à l'utilisation des données. Néanmoins, les questions liées aux données et à leur partage sont toujours des motifs d'études et d'enquêtes supplémentaires. Comme indiqué dans (Raut et al., 2021), le type de données à partager et l'objectif réel de ce partage tout au long du MLSC ne sont pas clairs. En outre, la faisabilité technique de la mise en œuvre de technologies telles que le big data et les connaissances nécessaires pour bien utiliser ces données ont été soulignées par (Sundarakani et al., 2021). (Hopkins, 2021) a souligné le manque de spécialistes des données pour le développement de la technologie potentielle. De plus, (Queiroz and Telles, 2018) ont également identifié le manque de connaissance du potentiel de cette technologie sur le territoire brésilien.

Dans le MLSC, les opportunités englobant l'automatisation rapide de l'I4.0 constituent une tendance. Ces opportunités ont permis aux supply chains d'accéder, de stocker et de traiter une grande quantité de données, tant en interne qu'en externe, permettant aux entreprises d'accéder à des données personnalisées sur les consommateurs afin d'individualiser l'entonnoir de vente, le développement de produits et le service (Schniederjans et al., 2020). En outre, l'utilisation des technologies de l'I4.0 et de la gestion lean favorise une grande variété de solutions lean-agiles pour accroître la capacité d'innovation et les avantages concurrentiels par la gestion des déchets dans l'ensemble de la SC, ce qui conduira au management lean-écologique de la supply chain.

En termes d'amélioration continue du MSC, l'I4.0 s'appuie sur les piliers du Lean. Cette collecte rapide de données en temps réel est rendue possible par la capacité à connecter des dispositifs, des capteurs, des actionneurs et des logiciels. Cette meilleure visibilité a un impact direct sur les efforts d'"amélioration lean" dans l'ensemble de la supply chain. (Kumar et al., 2021)

mettent en évidence les défis, les possibilités et les aspects cruciaux de la réussite de de l'I4.0 pour les SCs dans leur recherche sur les facteurs influençant le déploiement de l'I4.0. Les auteurs suggèrent des facteurs de réussite basés sur des évaluations d'experts en raison de la difficulté reconnue à identifier des études de cas pertinentes. La formation des employés, la réalisation de recherches avant tout projet de l'I4.0 et l'utilisation régulière des données existantes de l'entreprise sont reconnues comme trois critères de réussite essentiels qui déterminent la mise en œuvre de l'I4.0 dans le MLSC.

1.5.2 Implications

Les résultats de notre recherche ont des implications à la fois pour les managers et les académiques. Voici quelques réflexions et suggestions à prendre en compte :

Tout d'abord, du point de vue du management, cette étude peut être utilisée comme un guide sur le lien entre les technologies de l'I4.0 et le MLSC. Plus précisément, les outils de l'I4.0 offrent aux managers de la supply chain lean de toutes nouvelles capacités, leur permettant de réagir plus rapidement aux circonstances cruciales et de renforcer plusieurs indicateurs clés de performance au sein de l'ensemble du réseau de la supply chain lean.

En réalité, la méconnaissance des impacts de la transformation digitale, en l'occurrence des technologies de l'I4.0 et de leur extension au niveau de la supply chain constitue un problème majeur (Luthra and Mangla, 2018). En outre, la relation démontrée entre les technologies de l'I4.0 et le MLSC, telle que vue via les sous-domaines analysés, est un outil stratégique de gestion et elle peut être utilisée pour prendre des décisions clés sur la façon d'intégrer des technologies particulières de l'I4.0 dans des contextes du MLSC afin d'obtenir des avantages concurrentiels.

En termes d'implications académiques, cette recherche tente de servir de ligne directrice pour les académiques actuels et futurs intéressés à développer des études sur le MLSC et les technologies de l'I4.0. Ainsi, la proposition inédite de la littérature établie selon laquelle les sous-domaines du MLSC améliorés par les outils de l'I4.0 actuels et les outils de l'I4.0 les plus répandus dans le MLSC pourrait aider les académiques à reconnaître le développement des recherches précédentes et la révolution technologique vers le "MLSC 4.0".

Enfin, diverses études sur le MLSC 4.0 en général (Jayaram, 2016; Hofmann et al., 2019; Frazzon et al., 2019) soulignent le manque de savoir-faire numérique, d'apprentissage et de sensibilisation des managers aux technologies de l'I4.0 et à leurs avantages potentiels, pour n'en citer que quelques-uns, la capacité d'investissement de certains acteurs de la supply chain (par exemple, les PME), la capacité à entreprendre des projets pilotes de la supply chain, les problèmes d'interopérabilité et de compatibilité, les préoccupations en matière de cyber-sécurité et les barrières réglementaires, ainsi que d'autres obstacles ou blocages pertinents.
Par conséquent, les politiques publiques (aux niveaux régional, national et international) pourraient aider et mener des recherches, intégrer les initiatives de l'I4.0 au niveau du MLSC, et améliorer les systèmes d'exploitation où les meilleures décisions et les leçons apprises pourraient être partagées.

1.5.3 Limitations

L'objectif de cette recherche était d'étudier et de discuter les implications des technologies de l'I4.0 dans le MLSC. Une large perspective peut être obtenue en effectuant une revue de la littérature pour détecter les lacunes de la recherche et analyser les connaissances actuelles dans ce domaine. Nous n'avons pas pu inclure les détails de chaque étude car nous voulions couvrir une vaste base de connaissances avec de multiples sous-domaines. En outre, l'utilisation du critère d'inclusion des articles publiés dans des revues à impact JCR et/ou SJR a pu se traduire par l'exclusion de certains autres articles pertinents.
En outre, bien que nous ayons effectué une analyse documentaire en utilisant la base de données Scopus pour obtenir des informations pertinentes sur le sujet, nous avons probablement négligé des articles pertinents.

Pourtant, malgré ces limites, nous pensons que cette étude offre une image complète des technologies de la corrélation entre l'I4.0 et MLSC qui pourrait susciter la discussion et fournir des implications importantes pour les études de développement qui veulent approfondir des domaines spécifiques de la transformation de l'I4.0 et le MLSC.

1.5.4 Ecarts et orientations futures de la recherche

Même si certaines recherches ont mis en lumière l'application des technologies de l'I4.0 au MLSC, il existe encore de nombreux écarts scientifiques. Nous avons trouvé diverses recommandations d'étude dans la littérature sélectionnée, qui ont été soit proposées par les auteurs, soit élaborées par l'analyse et la synthèse de la littérature elle-même.

Bien que les chercheurs sur les technologies de l'I4.0 aient abordé l'intégration de la supply chain lean (Regal and Pereira, 2018), nous avons découvert que des recherches supplémentaires sont encore nécessaires sur ce sujet pour en savoir plus et améliorer la preuve scientifique.

En ce qui concerne le contexte et les caractéristiques du MLSC, les écarts les plus importantes sont dues à des variables situationnelles inconnues. Les recherches futures peuvent aborder l'étude de l'interaction entre le MLSC et les technologies de l'I4.0 en fonction du pays où la supply chain lean mène son activité, ainsi que le processus de développement actuel (le niveau interne et à travers la SC), et le volume de l'entreprise (PME), qui sont des préoccupations contextuelles (Plenert, 2010).

Ainsi, les recherches futures sur les interrelations entre le MLSC et les technologies de l'I4.0 devraient tenir compte de ces divergences. (Andrés-López et al., 2015) ont également soutenu la nécessité de renforcer la recherche et de développer de nouvelles idées dans le domaine du service lean. En outre, l'importance des perturbations environnementales (Ramirez-Peña et al., 2020b) dans les interactions entre les technologies de l'I4.0 et le MLSC s'est rapidement intensifiée.

La pandémie mondiale de COVID-19 modifie le paysage dans le monde entier ; de nombreux SCs sont confrontés à l'ambiguïté et à l'incertitude de leur cadre dans des voies nouvelles (Paul et al., 2021). Des recherches empiriques sur les effets de l'incertitude, en particulier l'incertitude de l'approvisionnement, dans les technologies de l'I4.0-MLSC devraient être menées pour aider

les organisations et les parties prenantes à mieux comprendre les nouveaux défis et opportunités offerts par le MLSC 4.0.

D'un point de vue plus spécifique, la réalité augmentée (RA) a été employée comme outil d'apprentissage dans des contextes du MLSC. Néanmoins, des technologies comme la réalité virtuelle (RV) n'ont pas été décrites dans le domaine du MLSC. La réalité virtuelle (RV) permet d'incorporer des informations virtuelles dans des objets physiques. Globalement, la réalité virtuelle permet aux fabricants, aux managers et aux employés de bureau de développer de nouveaux produits, d'optimiser le flux de travail et de générer de nouvelles stratégies de gestion. Ainsi, des études théoriques et empiriques évaluant l'applicabilité de cette technologie dans les contextes du MLSC pourraient être réalisées.

D'autres technologies à venir, comme la Blockchain et les technologies de fabrication avancées, qui n'ont pas encore fait l'objet de recherches dans les environnements du MLSC, pourraient considérablement aider à atteindre les objectifs du lean dans la supply chain. À cet égard, il serait intéressant d'évaluer la créativité qui pourrait naître des informations obtenues dans le cadre du MLSC à la suite de l'application de certaines nouvelles technologies de l'I4.0.

En réponse à la deuxième QR (l'identification des technologies de l'I4.0 qui ont le potentiel d'être appliquées dans les études du MLSC), pour réduire le manque de connaissances, nous recommandons d'inclure les technologies de l'I4.0 suivantes dans les recherches futures. Premièrement, l'IdS est une technique importante et puissante qui, lorsqu'elle est combinée à d'autres technologies de l'I4.0 telles que l'IdO et la Blockchain, a le potentiel d'avoir un impact substantiel sur la recherche et la pratique du MLSC. Deuxièmement, le traitement du langage naturel (TLN) est une technologie de pointe de l'I4.0 qui a le potentiel de révolutionner l'avenir du MLSC (Wichmann et al., 2018). De nombreuses applications de ce concept sont désormais accessibles, mais la pleine capacité du TLN n'a pas encore été atteinte. Le TLN est utilisé dans les stratégies de marketing, la publicité en ligne, le développement commercial, la gestion de la relation client et l'analyse de données par le biais de chatbots (Yang et al., 2010). Enfin, l'apprentissage automatique joue un rôle important en permettant aux organisations de découvrir les causes fondamentales de certaines perturbations dans leurs systèmes et activités. Une attention accrue est nécessaire pour offrir de nouvelles possibilités de résonance entre les aspects théoriques et pratiques.

D'une part, les implications des technologies émergentes et des informations digitales pour l'intégration de la supply chain lean ont été explorées du point de vue de la ligne d'étude de l'approche générale des technologies émergentes, y compris des caractéristiques telles que leur impact sur l'efficacité et la fiabilité de la supply chain. En revanche, un élément d'une grande importance - l'agilité - n'a reçu que peu d'attention dans la recherche sur les technologies de l'I4.0 et le MLSC. En raison de l'impact de diverses technologies de l'I4.0, nous avons découvert que le concept d'agilité a un impact important sur les entreprises mondiales (Ramirez-Peña et al., 2019). Néanmoins, il serait intéressant d'explorer comment les organisations pourraient appliquer les technologies combinées de l'effet de l'I4.0-MLSC pour accomplir des réalisations dans plusieurs aspects de la durabilité (sociale, environnementale et économique).

D'autre part, peu d'études se penchent sur la façon dont les concepts et les pratiques du MLSC peuvent aider les organisations à mettre en œuvre les technologies de l'I4.0 (Wang et al., 2016; Hahn, 2020). À cet égard, il serait extrêmement impressionnant de voir comment certains

attributs ou conditions préalables du MLSC, tels que la planification, les valeurs culturelles, les relations à long terme et les alliances de partage des risques, parmi beaucoup d'autres, peuvent permettre ou stimuler l'adoption des technologies de l'I4.0. De même, il est essentiel d'examiner comment le niveau d'adoption du MLSC peut favoriser ou entraver l'adoption des technologies de l'I4.0. Dans ce contexte, les chercheurs devraient s'attacher à trouver les moteurs et les inhibiteurs des efforts du MLSC 4.0. Enfin, d'un point de vue général, les articles sur l'I4.0 et le MLSC qui ont été examinés se sont concentrés sur les industries manufacturières, en particulier l'automobile et la construction.

1.6 Conclusion

L'objectif du chapitre 1 était de trouver, d'examiner et d'analyser la littérature sur les interrelations entre le MLSC et les technologies de l'I4.0. Nous avons examiné 79 articles qui ont été sélectionnés au cours de cinq phases. Nos résultats suggèrent que parmi les différentes technologies de l'I4.0 proposées, certaines ont été utilisées dans une plus grande mesure que d'autres. Nous avons pu conclure de cette étude qu'il n'existe pas encore de revue de la littérature qui compile toutes les recherches sur l'influence de l'intégration et du déploiement des technologies de l'I4.0 sur la stratégie du MLSC. Les interrelations entre le MLSC et les technologies de l'I4.0 ont été ignorées dans les études bibliographiques précédentes sur ce sujet ; c'est pourquoi ce travail comble cette lacune dans la littérature.

Cette étude offre un guide qui peut faciliter la recherche des académiques et des praticiens. Notre analyse est utile aux chercheurs qui s'intéressent à ce sujet pour étudier et identifier la question des interrelations entre le MLSC et les technologies de l'I4.0.

Malgré cela, il est nécessaire d'approfondir la recherche sur l'application des nouvelles technologies de l'I4.0 dans les contextes du MLSC, car les chercheurs doivent s'y intéresser davantage, compte tenu de leur potentiel de croissance et de leur capacité à atteindre les objectifs du MLSC. En outre, il existe des technologies de l'I4.0 à venir dont l'impact n'a pas encore été étudié dans l'environnement du MLSC.

Enfin, en raison de l'évidente méthodologie du RSL appliquée, ce travail présente des limites importantes. D'une part, seuls les articles de presse et les articles publiés en anglais qui répondaient à nos normes de qualité et de thématique (par exemple, l'utilisation de la base de données Scopus ou les mots-clés inclus) ont été pris en compte. Par conséquent, certains articles sur le lean et la supply chain peuvent avoir été négligés (biais de publication). Une petite restriction pourrait être l'utilisation de mots-clés typiques des technologies organisationnelles de l'I4.0-MLSC qui n'incluent pas de terminologie liée à la fiabilité. Si l'on considère que notre RSL couvre une période où les principes de l'I4.0 en étaient encore à leurs balbutiements, par exemple, les normes des chercheurs. Ces limites sont toutefois intrinsèques à l'approche de la RSL, car des limites appropriées doivent être définies pour que l'examen soit réalisable.

En résumé, le chapitre 1 aborde les technologies de transformation digitale (Industrie 4.0) qui peuvent améliorer la mise en œuvre et la performance du MSC et les sous-domaines améliorés du MSC dans le cadre des technologies de la TD. Dans le même contexte, l'humanité va être confrontée à de gros problèmes environnementaux, tels que les menaces climatiques, les pénuries d'eau, la perte de biodiversité, la gestion des déchets, etc. Compte tenu de ces problèmes, les entreprises doivent adopter des pratiques respectueuses de l'environnement. Afin de proposer des mesures spécifiques pour parvenir à une prospérité accrue et à un plus

grand respect de l'environnement, l'objectif du chapitre 2 est de développer un cadre de perspective environnementale en intégrant une technologie cruciale de la transformation digitale - l'Internet des Objets (IdO) - dans une supply chain durable (SCD) dans un domaine de recherche spécifique qui est le secteur automobile. La figure 12 montre une vue d'ensemble de la corrélation entre les chapitres 1 et 2.

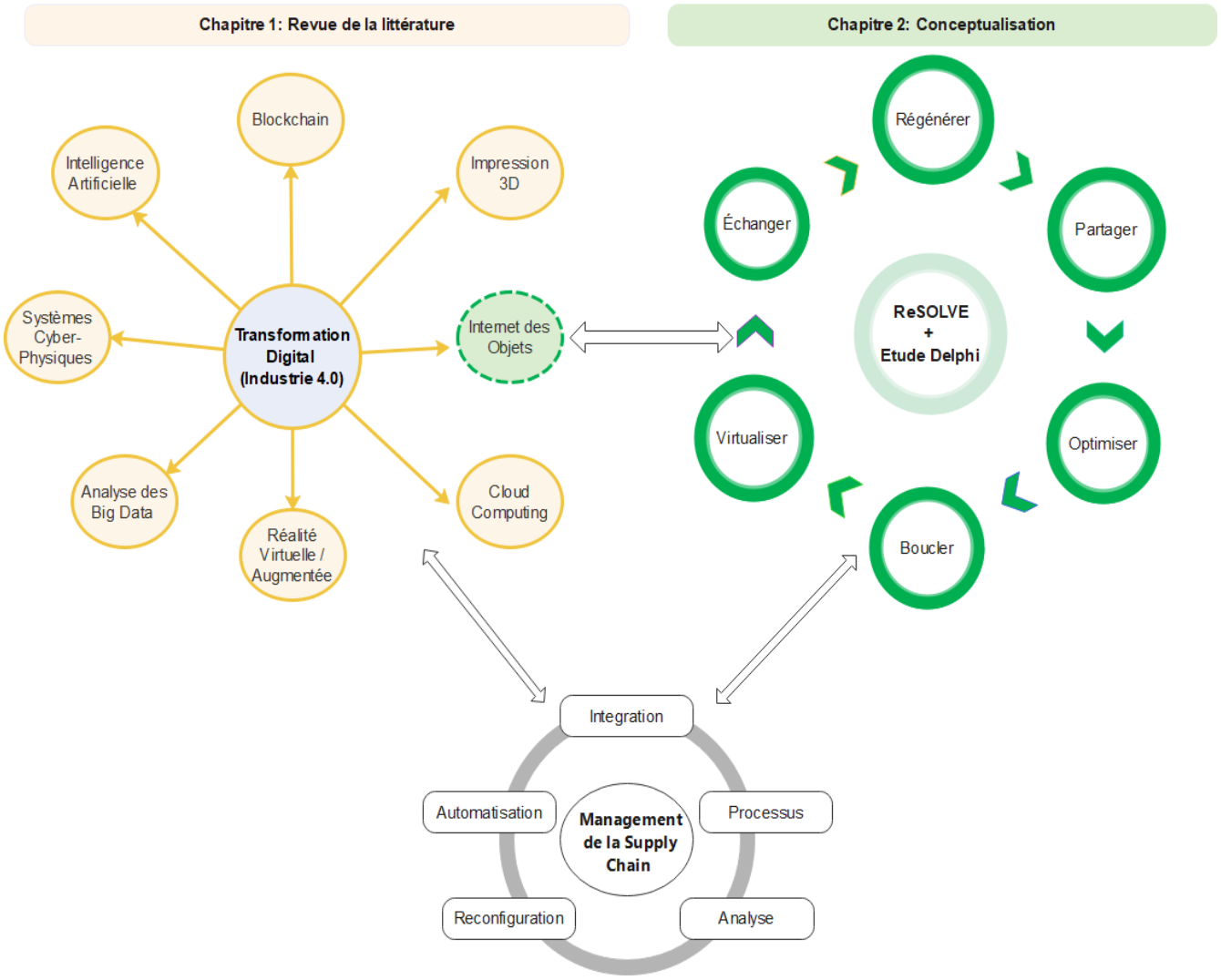


Figure 12: Vue d'ensemble de la corrélation entre les chapitres 1 et 2.

(Source: Élaboration des auteurs)

Chapitre 2. Élaboration d'un modèle de perspective durable en intégrant l'internet des objets dans le management de la supply chain automobile

2.1 Introduction 66
2.2 Revue de littérature 69
2.2.1 Supply chain automobile 69
2.2.2 Technologies de l'IdO 70
2.2.3 Digitalisation de la supply chain automobile 72
2.2.4 Méthodes utilisées pour la mise en relation entre l'industrie 4.0 et le supply chain automobile 73
2.2.5 Résultats de la revue de littérature 74
2.3 Méthodologie de la recherche utilisée dans le cadre de l'étude 74
2.3.1 Etude Delphi 74
2.3.2 Modèle ReSOLVE 77
2.3.3 Cadre conceptuel de recherche 79
2.4 Validation du cadre 80
2.4.1 Étude Delphi (Ronde 1) 81
2.4.2 Étude Delphi (ronde 2) 81
2.5 Discussion 86
2.6 Conclusion 87

2.1 Introduction

Ces dernières années, des sujets disruptifs comme l'Internet des Objets (IdO) et la durabilité environnementale ont reçu plus d'attention. Les supply chains récentes ont besoin d'une résilience de l'approvisionnement, de processus et de méthodes pour améliorer l'efficacité, la réduction des déchets ou des ordures, la gestion des actifs et des stratégies de consommation et de production plus réalisables, les techniques de prévision, l'analyse avancée des données, les applications blockchain et les dispositifs de l'IdO, entre autres, sont utilisés pour résoudre ces problèmes (El Jaouhari et al., 2023b; Kumar and Lee, 2022). L'intégration des systèmes d'information (SI) est devenue plus complexe et dynamique à mesure que le monde est devenu plus volatile, ce qui pousse les entreprises industrielles à investir dans des usines intelligentes (Napoleone et al., 2020).

Le MSC (management de la supply chain) est un aspect essentiel de la planification des ressources de l'entreprise (PRE) qui établit des liens avec de multiples parties prenantes de la supply chain. Les concessionnaires, les fabricants, les fournisseurs, les vendeurs et les utilisateurs finaux constituent la supply chain, qui cherche à équilibrer l'offre et la demande (Perez-Franco et al., 2016). La PRE peut gérer efficacement la chaîne de valeur coordonnée, de l'achat des matières premières à la consommation du client final (Kandananond, 2014). Une plus grande efficacité, un temps réduit, une production accrue, une réduction des coûts, un inventaire optimisé et zéro erreur sont autant d'avantages des systèmes d'information (Boiko et al., 2019). À mesure que l'industrie automobile se développe, de nouvelles technologies telles que les véhicules hybrides, autonomes, électriques et connectés apparaissent comme la prochaine étape de la digitalisation et de l'échange de données (Belhadi et al., 2021; Papulová et al., 2022). Cependant, les opérations de la supply chain dans l'industrie automobile sont progressives et variables, ce qui entraîne des opérations inefficaces (Kumar and Rahman, 2016; Luthra et al., 2016). Un meilleur partage des données est essentiel pour remédier à ces goulots d'étranglement. L'industrie automobile a vu une large utilisation de dispositifs de capteurs, l'emploi d'approches du big data, des capacités d'énergie et de stockage, et une augmentation du calcul suite à l'industrie 4.0 (Kamble et al., 2021; Mögele and Rau, 2019). La robotique, les modèles de prévision, la technologie du Cloud, les nouvelles interfaces homme-machine, les mises à niveau de l'IdO et l'impression 3D/4D sont utilisés par les installations de fabrication pour assurer la livraison rapide des pièces et l'optimisation du niveau des stocks (Arif et al., 2019b; Saravanan et al., 2022; Tay et al., 2021). En outre, le secteur automobile s'appuie considérablement sur des fournisseurs de pièces et de matières premières provenant de nombreuses régions, de sorte que la responsabilité et la transparence sont essentielles pour des supply chain durables (Agrawal et al., 2022; Lopes Silva et al., 2018).

La supply chain est devenue plus pertinente pour le concept de durabilité au cours des quelques décennies précédentes (Hristov et al., 2022; Rossolov et al., 2020). Les entreprises sont désormais tenues de mettre en œuvre des stratégies de durabilité pour maintenir leur stabilité en raison de la hausse constante de la concurrence mondiale (Moktadir et al., 2020; Rotondo et al., 2019). La durabilité est intégrée tout au long du processus de création, du concept initial à la livraison du produit final au client (S. A. R. Khan et al., 2021; Linke et al., 2019). Divers chercheurs étudiant le management durable de la supply chain (MDSC) ont présenté des cadres pour améliorer les taux d'adoption du MDSC (Mastos et al., 2020a; Tseng et al., 2019). Bien que l'ère industrielle contemporaine progresse rapidement vers la digitalisation, il est crucial de souligner que cela rend difficile pour les entreprises d'appliquer avec succès le MDSC en utilisant des approches de durabilité et des supply chains traditionnelles (Sawe et al., 2021;

Taghikhah et al., 2019). Comme toute autre supply chain, la supply chain automobile (SCA) subit une pression énorme pour améliorer la lucidité et réduire la variabilité des opérations (Mohammadzadeh et al., 2021; Vieira et al., 2019). En raison de cet effort, les parties prenantes de la SCA ont eu besoin d'une technologie rigoureuse et fiable pour la surveillance et le partage des données (Mathivathanan et al., 2018).

L'un des secteurs dont la croissance est la plus rapide est le secteur automobile en matière de développement de l'IdO (El Jaouhari et al., 2023b, 2022a). Selon les estimations du marché, il y aura environ 310 millions de véhicules dotés de capacités de l'IdO en 2023 (Krasniqi and Hajrizi, 2016; Rahim et al., 2021). En ce qui concerne la valeur financière, la recherche de Reuter sur l'emporium Global Automotive de l'IdO a prévu une énorme augmentation du prix du marché de l'IdO - augmenterait à 100,93 milliards de dollars en 2023, contre 20,49 milliards de dollars en 2016 (Reuter, 2016). Dans cette situation, la technologie de l'IdO peut avoir un impact significatif dans l'amélioration de la facilité générale de transit et de l'efficacité des activités de voyage en utilisant un système de transport intelligent (STI) pour réduire les déplacements perturbés et les taux d'accidents grâce à un échange de données précises entre les automobilistes et d'autres autorités pertinentes (Alkinani et al., 2022; Rajabion et al., 2019). En outre, dans la fabrication automobile intelligente, l'IdO peut également être utilisé pour offrir une détection perspicace des problèmes des véhicules et un diagnostic éclairant des problèmes des voitures, ainsi qu'un raffinement de la productivité et de la maintenance (Ashima et al., 2021; Qazi et al., 2022). Par conséquent, les dispositifs de l'IdO dans l'industrie automobile sont de plus en plus populaires, comme en témoignent la planification intelligente des transports (Levina et al., 2017), la surveillance de l'état des véhicules (Fahmi et al., 2019) et la surveillance de l'activité industrielle (Wong et al., 2021). Par exemple, l'adoption à grande échelle des technologies de pointe de communication dans les processus industriels pour accélérer et surveiller les processus de production, le contrôle des stocks de composants de rechange, la gestion des matières premières, la gestion des ventes et la supervision après-vente des pièces automobiles est un choix viable (Ching et al., 2022; Saravanan et al., 2022).

Selon les auteurs (Carayannis et al., 2018; Laroui et al., 2021; Pal et al., 2022), en 2023, l'IdO apporte plus de 14 000 milliards de dollars à l'économie, avec environ 34 milliards de dispositifs intégrés dans divers domaines tels que les réseaux intelligents, les infrastructures urbaines, l'automatisation domestique/résidentielle, les systèmes industriels, les transports, les soins de santé, l'armée, etc. L'IdO équipe simplement les gadgets de capteurs spécialisés qui leur permettent de communiquer et d'aider les utilisateurs à participer activement aux réseaux d'information (El Jaouhari et al., 2022a; Zhu and Zhao, 2018). L'IdO rend les appareils autonomes intelligents et connectés, facilite le suivi des matériaux et aide au tri des produits périmés et à la gestion des déchets (El Jaouhari et al., 2022c; Lin et al., 2019). Par conséquent, les services de remanufacturation, de réutilisation et de recyclage ferment la boucle. Les organisations et les entreprises seraient capables de recueillir une quantité importante d'informations en peu de temps avec cette nouvelle méthode (Manavalan and Jayakrishna, 2019a). En outre, l'IdO permet aux fabricants de garder un œil sur le fonctionnement de leurs produits, fournissant des données qui aident à fournir une meilleure assistance technique (Venkata Lakshmi et al., 2021). Les activités de fin de vie et de rénovation peuvent bénéficier de l'IdO. Le suivi de l'état des produits, selon Raghu, (2018) est essentiel pour toute entreprise. Ainsi, l'IdO pourrait être une technologie utile qui permet aux entreprises de surveiller l'utilisation, l'emplacement et l'état de leurs appareils en temps réel tout au long du cycle de vie de leurs produits (Menon et al., 2022). Les responsables de la fabrication peuvent en apprendre davantage sur la façon dont les clients utilisent et déploient leurs biens de cette manière, ce qui

leur permet de se rapprocher d'eux (Manavalan and Jayakrishna, 2019a). Par conséquent, les producteurs et leurs clients auront des contacts bénéfiques.

À l'heure actuelle, aucune étude ne porte explicitement sur les difficultés liées à l'IdO en matière du SCA, mais de nombreux efforts sont entrepris dans ce sens. Selon la littérature, les perspectives offertes par l'IdO pour les SCA à long terme n'ont pas été pleinement concrétisées dans la pratique (Aich et al., 2019; Delic and Eyers, 2020; Ray et al., 2018; Yadav et al., 2020b), et le lien entre la pratique et la théorie reste restreint. La majorité des recherches sont centrées sur des modèles et des cadres théoriques qui ne sont pas évalués dans une mise en œuvre dans le monde physique. En outre, il y a eu peu de sondages spécifiques à l'industrie jusqu'à présent (Rajeev et al., 2017). Par conséquent, des recherches supplémentaires sont nécessaires pour étudier les problèmes qui entravent l'acceptation et l'utilisation du supply chain automobile durable (SCAD) basé sur l'IdO.

Par conséquent, en utilisant une combinaison du modèle ReSOLVE et de l'approche Delphi, le présent chapitre vise à proposer un cadre conceptuel pour l'incorporation de la technologie de l'IdO afin de créer une SCAD. Au travers de la littérature existante, la technique Delphi aide à la finalisation de l'attribut moteur de l'IdO dans le SCAD (Gebhardt et al., 2022). Le modèle ReSOLVE, quant à lui, utilise les concepts clés de la circularité pour les appliquer à six actions : Régénérer, Partager, Optimiser, Boucler, Virtualiser et Echanger, pour aider à répondre aux problèmes de planification à long terme concernant l'intégration des énergies renouvelables dans la SCA (Dev et al., 2020).

Dans ce contexte, la SCA actuelle sera étudié dans ce cadre, et les opérations seront classées en fonction de leur durabilité stratégique et technologique. L'aménagement sera ensuite présenté, ce qui implique l'adoption de la technologie de l'IdO dans toutes les opérations. L'étude actuelle tente également d'investiguer une discussion sur le sujet en abordant trois questions de recherche (QRs) :

- *QR1 : Quels sont les impacts de l'IdO sur le développement de la SCA ?*
- *QR2 : Dans quelle mesure les pratiques de l'IdO peuvent-elles réduire les dépendances de la SCA ?*
- *QR3 : Comment la durabilité, la visibilité de la supply chain et l'IdO peuvent-ils s'unir pour former une SCA efficace pour les parties prenantes?*

Par conséquent, l'objectif de ce chapitre est d'étudier la manière dont l'IdO est actuellement utilisé dans la SCA et comment l'IdO peut aider les SCA. Cette étude propose un système d'identification des SCA compatibles avec l'IdO et de cartographie de cas basée sur les capacités de l'IdO. En outre, cette étude se distingue d'autres études récentes en ce qu'elle se concentre sur le développement d'applications de l'IdO pour l'industrie automobile et les technologies de connectivité connexes (Rahim et al., 2021; Turner et al., 2022). Pour ce faire, nous rassemblons les informations essentielles des projets de recherche existants et envisage les orientations potentielles des études futures. Par exemple, les précédentes études sur l'IdO dans l'industrie automobile portaient sur des sujets spécifiques, notamment une enquête sur les technologies critiques (Halili, 2020), une évaluation du réseau intra-véhiculaire (Ashjaei et al., 2021), un examen des systèmes de parking (Zhang et al., 2020) et des descriptions succinctes de la mise en œuvre limitée de l'IdO dans l'industrie automobile (Rahim et al., 2021; Turner et al., 2022). Cette étude va un peu plus loin en rassemblant un ensemble diversifié de réseaux de

l'IdO automobiles et en les intégrant à d'autres articles de recherche, tels que le suivi des véhicules importants (Sugumar et al., 2020), la détection des positions accidentelles (Rahim et al., 2021), la prévention du cambriolage des véhicules (Sathiyanarayanan et al., 2018), l'observation des performances des véhicules (Shao et al., 2019), la gestion intelligente du trafic urbain (Balakrishna and Thirumaran, 2018), la gestion industrielle automobile (Malik et al., 2021), etc. Cet effort devrait permettre de saisir les applications nouvelles et en évolution de l'IdO dans la SCA, jetant ainsi les bases de l'adoption récente de l'IdO par la SCA, qui se dirige vers l'industrie 4.0.

Cette recherche est structurée comme suit. La section 2 est une revue de littérature qui traite des fondements théoriques de l'IdO dans la SCA et des méthodes proposées. L'approche utilisée dans cette étude est discutée dans la section 3, et les résultats de l'étude sont présentés dans la section 4. La discussion de l'étude actuelle sont expliquées dans la section 5. Enfin, la dernière section résume ce chapitre et présente quelques conclusions.

2.2 Revue de littérature

2.2.1 Supply chain automobile

La supply chain automobile (SCA) est un réseau complexe d'intervenants, de fabricants, de distributeurs, de détaillants, d'organismes de réglementation et de compagnies d'assurance, ainsi qu'une gamme diversifiée de pièces automobiles (Teucke et al., 2018). La SCA est également bien aménagée et bien gérée à l'aide de méthodes conventionnelles. Il existe une chance énorme de créer une source unifiée d'actualité/données tout au long de la supply chain grâce à l'incorporation de l'IdO dans les procédures actuelles (Mastos et al., 2020; El Jaouhari et al., 2022). La figure 13 présente une SCA typique.

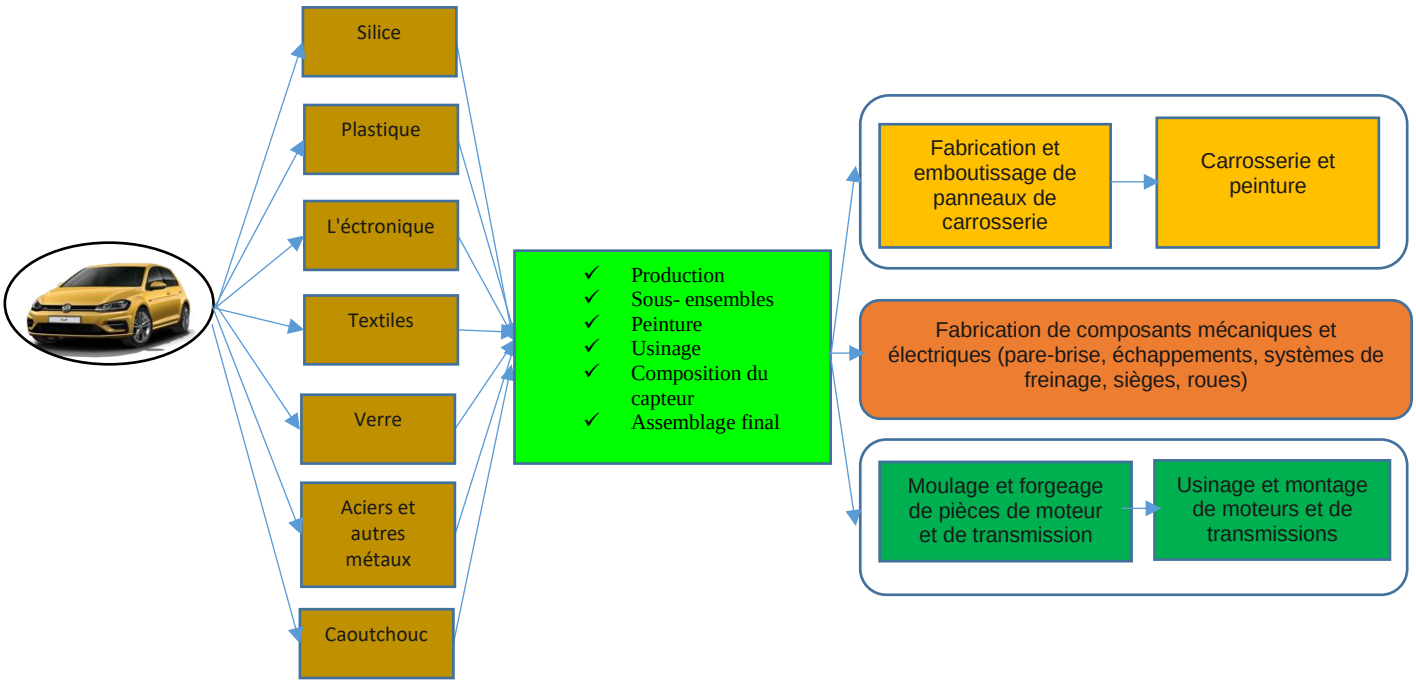


Figure 13: Supply chain automobile exemplaire.

(Source: Élaboration des auteurs)

2.2.2 Technologies de l'IdO

Les technologies de l'IdO sont utilisées dans de nombreuses industries différentes grâce au développement de l'industrie 4.0. Ces technologies, ainsi que leurs capacités, sont présentées ci-après. Ces connaissances seront nécessaires par la suite pour comprendre l'importance qu'elles confèrent en termes de durabilité, de transparence de la supply chain et de connexion.

- *Système de positionnement global*

L'une des technologies utilisées par les entreprises pour suivre les automobiles, les trains, les camions et les navires en temps réel est le système de positionnement global (GPS) (Brennan et al., 2019). Voici quelques avantages de l'utilisation de la technologie GPS pour le suivi : une amélioration de l'efficacité de la livraison grâce à l'identification des goulets d'étranglement, un diagnostic plus rapide des problèmes, une amélioration des informations pour les planificateurs, une amélioration de la satisfaction des clients et temps de réaction rapide en cas de retard (Gharajeh and Jond, 2020). Cependant, si les récepteurs du GPS sont situés à l'intérieur, ils seront incapables de communiquer efficacement avec les satellites pour fournir des données de localisation précises (Benachenhou and Bencheikh, 2021). En connectant les systèmes de cartographie du GPS aux systèmes du PRE, il peut être possible d'améliorer la planification logistique (Srinivasan et al., 2003), une transparence - efficacité accrue des décideurs, une capacité de transport plus élevée, une optimisation du transport urbain, acheminement dynamique des produits, des rapports d'exception automatisés et aide à la décision en ligne pour le transport - bénéficieront tous de son utilisation (Moufad and Jawab, 2017; Sirish Kumar and Srilatha Indira Dutt, 2020). Les entreprises emploient la télématique et les systèmes d'identification automatique (SIA) pour suivre les livraisons en temps réel tout au long du système de la supply chain, les deux offrant des avantages similaires (Papert et al., 2016).

- *Télématique des véhicules*

L'adoption des technologies de l'information et des communications (TIC) dans les transports est également connue sous le nom de (télématique avancée des transports), qui offre une variété de solutions pour le transport ferroviaire, routier, aérien et maritime, ainsi que pour les technologies de l'information et les télécommunications (Hamidi et al., 2016). Bien qu'il englobe toutes les formes de transport, le terme est le plus souvent utilisé pour désigner le logiciel de télématique des véhicules employé dans le secteur du transport routier (Janecki et al., 2010). L'objectif premier des systèmes télématiques automobiles est de transmettre et de stocker des données afin que les conducteurs puissent surveiller les itinéraires et envoyer des services tels que des notes de distribution numériques, des commandes de vente et des données enregistrées (Hu et al., 2022). Le deuxième élément important des systèmes télématiques automobiles est constitué par les dispositifs de surveillance internes qui recueillent des données sur le véhicule (Ußler et al., 2019). La disponibilité accrue des fournisseurs de technologie automobile garantit un meilleur contrôle de la flotte en termes de diagnostic automobile, de service automobile, de surveillance de la conduite, d'administration de la sécurité et de la santé, de gestion du carburant et de programmation compliquée du véhicule en utilisant des connaissances communes en temps réel (L. Wang et al., 2020). L'un des principaux résultats est que les dommages écologiques sont réduits, ce qui améliore la durabilité. L'utilisation de

données en temps réel permet également d'améliorer la prévision de l'heure d'arrivée estimée (HAE) dans les réseaux de transport routier (Boufidis et al., 2020).

- *Système d'identification automatique*

Le secteur maritime utilise le système d'identification automatique (SIA) pour recueillir des données sur les navires (Meyers et al., 2021). L'identification, la position, le type, le cap, l'état de navigation et la vitesse d'un navire sont tous automatiquement fournis par le SIA (Le Tixerant et al., 2018). Ces données peuvent ensuite être utilisées pour prévoir les délais de livraison et améliorer le management de la supply chain. De plus en plus souvent, les données du SIA sont utilisées pour surveiller les impacts écologiques (Stopka et al., 2019). L'organisation maritime internationale (OMI) a rendu obligatoire l'installation du SIA à bord des navires depuis 2002 (Robards et al., 2016).

- *Identification par radiofréquence*

La technologie de l'information et des communications sans fil est une technologie d'identification par radiofréquence (IDRF) qui ne nécessite pas de contact mécanique ou physique et qui, au lieu de cela, écrit et lit des données via des ondes radio (Tanner, 2016). L'IDRF se compose d'une étiquette à base de plaquettes fixée à une antenne, d'un scanner à transmission radio qui collecte les données des étiquettes et d'un logiciel qui se connecte aux systèmes d'entreprise (Fan et al., 2015). Dans un cadre rentable, la technologie de l'IDRF peut être utilisée pour reconnaître et connecter des équipements et des artefacts avec des réseaux et des bases de données (Oluyisola et al., 2018; Arif et al., 2019). Les données accessibles dans la technologie de l'IDRF sont cruciales pour améliorer les opérations de la supply chain en renforçant la transparence de la supply chain et en intégrant les acteurs de la supply chain (Pal, 2019). Selon les enquêtes de (Liukkonen, 2015), l'IDRF peut offrir divers avantages pour le management de la supply chain, notamment une meilleure visibilité et traçabilité, une amélioration des performances, une réduction des pertes de stocks, une meilleure qualité des informations et des données actuelles. Globalement, l'IDRF est utilisée dans les supply chains pour suivre les produits, les biens réutilisables, les caisses et les palettes comme les conteneurs et les racks. L'un des inconvénients les plus importants d'un système de l'IDRF est qu'une fois que les produits enregistrés sortent de l'usine ou de l'entrepôt, ils seront reportés jusqu'à ce que les marchandises soient liées et que l'arrêt suivant sur la supply chain soit réalisé (Garrido Azevedo and Carvalho, 2012).

- *Capteurs intelligents*

Les capteurs intelligents comprennent, par exemple, des capteurs d'humidité, d'influence et de température qui sont utilisés pour suivre les altérations de l'environnement et l'état des produits (Frank, 2013). Ces données, associées à l'IdO, peuvent être échangées entre les parties prenantes de la supply chain pour s'assurer que les produits et les matériaux sont déplacés sans modifier l'humidité, la température ou la qualité (Zhang and Sakurai, 2020).

- *Systèmes basés sur des caméras*

La collecte de données par caméra fournit des informations utiles en plus des méthodes traditionnelles de collecte de données (Fahmy et al., 2020). Les algorithmes de traitement d'images peuvent effectuer une variété d'activités, de la reconnaissance de base des produits aux impulsions avancées basées sur les caméras (Demirhan and Premachandra, 2020). Quatre

propriétés peuvent être utilisées pour détecter et suivre les artefacts : les bords, les couleurs, la texture et le mouvement (Kim et al., 2016). De nombreux domaines d'application sont inclus dans les systèmes basés sur des caméras, notamment la numérotation des objets lorsqu'ils entrent dans la zone de vision de la caméra, la surveillance des régions de stockage, le positionnement des objets, la surveillance de l'état de charge et le suivi du trajet des colis (Raphael et al., 2011). L'amélioration de la visibilité est un objectif commun à toutes les applications de composants visuels, qui est fréquemment complété par des avantages en termes d'efficacité (Hautiere et al., 2010). Les informations peuvent être extraites en continu à l'aide du système basé sur une caméra, ce qui permet la gestion des stocks et le suivi de l'état en temps réel (Fahmy et al., 2020).

- *Contrats intelligents*

Les contrats intelligents sont des lignes de séquence de lames qui sont enregistrées dans la Blockchain et sont ensuite mises en œuvre lorsque des conditions et des critères prédéfinis sont remplis (Almakhour et al., 2020). Les contrats intelligents peuvent être utilisés pour construire une prise de décision automatisée et transparente pour toute mise en œuvre qui nécessite un examen rigoureux avec une variété de critères (Almasoud et al., 2020). Dans l'industrie automobile, les contrats intelligents sont essentiels pour résoudre des difficultés telles que l'inventaire juste à temps, les systèmes d'évaluation des fournisseurs, les méthodes d'approvisionnement, les contrats-cadres et les bons de commande, les voies de recours légales, la division de la réglementation des contrats et les termes précis et explicites des spécifications (Ferreira, 2021).

2.2.3 Digitalisation de la supply chain automobile

L'Internet des Objets (IdO) est un système de dispositifs physiques, électroniques et informatiques, et d'articles dotés d'identifiants spéciaux qui s'informent sur un réseau sans nécessiter de communication de personne à ordinateur ou de personne à personne (Krasniqi and Hajrizi, 2016). L'IdO et l'IIdO (Internet industriel des objets) sont tous deux utilisés pour intégrer la connectivité et l'intelligence dans les systèmes industriels (Abdel-Basset and Imran, 2020; El Jaouhari et al., 2022a), mais la diversité entre eux réside dans leur technique d'application : L'IdO est principalement utilisé pour les besoins des clients, tandis que l'IIdO est principalement utilisé pour les besoins industriels dans les systèmes de surveillance de la production (Hossain and Muhammad, 2016; Karmakar et al., 2019).

La capacité des équipementiers automobiles à adopter le changement à l'ère digitale déterminera leur survie (Tarasov, 2018). Les entreprises effectuent une transition vers une stratégie digitale en exploitant une quantité substantielle de données obtenues dans les SCA via l'IdO, notamment des informations provenant de l'usine de production, des produits finaux, des processus, des habitudes de consommation des consommateurs et de la logistique (Banerjee, 2019; Kirk, 2015b; Turner et al., 2022) (QR1). Cependant, ces informations sont inutiles tant qu'elles ne sont pas structurées, décryptées et étudiées en profondeur pour en tirer des implications. Les données constituent la colonne vertebrale de l'industrie dans ce monde digitale en constante évolution, et elles ont le potentiel de modifier considérablement les processus commerciaux (Cano et al., 2018). Cependant, dans le cadre des procédures actuelles, l'avantage d'utiliser les données est sous-évalué. La SCA est confronté à de nombreuses difficultés qui passent inaperçues et nécessitent une attention particulière de la part de ses parties prenantes, parmi lesquelles figure le caractère fermé de l'écosystème (Yadav et al.,

2020b). Le secteur automobile s'oriente actuellement vers l'électrification, ce qui nécessitera la modernisation de la supply chain existante (Casper and Sundin, 2021). Une batterie, qui servira d'élément moteur principal du véhicule électrique (VE), remplacera par exemple un moteur à combustion intérieure, qui nécessite actuellement de nombreuses pièces provenant de plusieurs détaillants (Kalaitzi et al., 2019).

La complexité de la SCA découle de plusieurs variables, notamment la présence de plusieurs intermédiaires, d'énormes distances géographiques et de multiples couches de vendeurs avec de vastes normes de fournisseurs (Giuliano Almeida Marodin et al., 2016). Les données enregistrées contiennent des incertitudes et des doublons, et les mêmes connaissances sont utilisées pour une enquête complète du système de la SCA (Vieira et al., 2019). En outre, le secteur automobile est mal préparé à l'échange de données réelles entre les parties prenantes, et les dispositifs traditionnels sont incapables de transmettre des informations précises sur les produits aux consommateurs finaux, et l'authenticité des données n'est confirmée nulle part dans la supply chain (Zailani et al., 2015) (QR2).

Cependant, les parties prenantes doivent avoir une connaissance plus approfondie de l'écosystème automobile pour résoudre les difficultés des SCA (Datta et al., 2017). La majorité des entreprises automobiles travaillent au développement de nouvelles technologies de pointe pour collecter en permanence d'énormes quantités d'informations et faciliter la gestion des actifs (A.S. and Ramanathan, 2021). Des capteurs à haute capacité de détection, des dispositifs informatiques intégrés et des systèmes de collecte de données sans latence sont des exemples de technologies de l'IdO, qui peuvent interagir avec d'autres gadgets pour les activer et relier les personnes par le réseau (Mohanta et al., 2020). En outre, les informations provenant des supply chains peuvent être exposées à des analyses sophistiquées pour une prise de décision basée sur l'information et une transparence de bout en bout en temps quasi réel.

2.2.4 Méthodes utilisées pour la mise en relation entre l'industrie 4.0 et le supply chain automobile

Les recherches antérieures se sont concentrées sur l'analyse de données quantitatives ou qualitatives afin d'établir un lien significatif entre le concept de l"industrie 4.0 et le développement des SCA. En raison de l'ambiguïté linguistique de la littérature existante, il existe encore des lacunes dans la caractérisation de cette interaction (Birkel and Hartmann, 2020; Raj Kumar Reddy et al., 2021; Ramirez-Peña et al., 2020a). En outre, des entretiens adéquats avec les acteurs clés et une saisie des relations entre les qualités font défaut dans la littérature, ce qui offrirait un aperçu des complexités inhérentes aux problèmes du monde réel. (Müller, 2019), par exemple, a mené des entretiens approfondis avec des cadres supérieurs afin d'identifier les éléments qui stimulent et défient l'I4.0.

En dehors de cela, d'autres techniques de prise de décision multicritères (PDMC), telles que le processus de hiérarchie analytique (PHA) et la technique d'exécution d'ordre par similarité à une solution idéale (TEOSSI), n'ont pas réussi à découvrir les liens de causalité entre les critères qui peuvent être facilement établis en utilisant la technique Delphi (Asghari et al., 2017). L'analyse présentée dans ce chapitre s'appuie sur un mélange du paradigme ReSOLVE et de l'approche Delphi. En effet, (1) cette technique est bien établie et structurée, et elle examine le jugement des experts, ce qui peut aider à déterminer l'application de l'IdO la plus appropriée dans la SCA ; et (2) cette méthode aide à analyser les interconnexions entre les paramètres et à découvrir leurs relations causales significatives. En bref, la technique Delphi permet de découvrir les liens entre les caractéristiques proposées et de fournir des réponses dans des

contextes peu clairs liés à l'ambiguïté de jugement humain (Dohale et al., 2019). La méthode Delphi est utilisée dans cette étude pour trouver des applications de l'IdO dans la SCA et leurs caractéristiques causales.

2.2.5 Résultats de la revue de littérature

L'étude documentaire a révélé que les technologies de l'IdO et la durabilité ont un énorme potentiel pour modifier la SCA. La création d'un cadre théorique pour atteindre la durabilité et le potentiel de l'IdO est nécessaire pour la transition. Une étude de la littérature a révélé les lacunes de recherche suivantes sur l'adoption de l'IdO et la durabilité dans les SCA :

1. La littérature comporte de nombreux rapports sur le thème de la durabilité ou des technologies de l'IdO pour les SCA. Cependant, il n'y a pas beaucoup d'évaluation mixte de ces idées pour la SCA. L'introduction des technologies de l'IdO et de la durabilité peut présenter de nouveaux problèmes pour les SCA, d'où l'importance de rechercher comment ces facteurs affectent les SCA (Turner et al., 2022).

2. Les technologies de l'IdO et la SC durable sont des idées complémentaires qui peuvent aider une entreprise automobile à surmonter les problèmes de mise en œuvre (Bhatia and Jakhar, 2021). Par conséquent, il est maintenant possible d'étudier comment diverses idées pourraient être combinées avec les technologies de l'IdO pour voir si le secteur de l'énergie peut être amélioré.

3. Les orientations des études futures dans le domaine de la SCA ont été fournies par l'introduction de nouveaux concepts tels que l'automobile 4.0 (Mastinu et al., 2019) et les réseaux intelligents circulaires (Alcayaga et al., 2019). La formulation de stratégies, l'identification des obstacles, le processus de mise en œuvre et d'autres sujets présentent un potentiel pour la recherche empirique et théorique.

Les lacunes des études susmentionnées soulignent la nécessité d'élaborer un cadre conceptuel pour l'intégration de la technologie de l'IdO dans une SCAD, de décrire les actions possibles et de classer les risques qui pourraient se développer tout au long du processus d'intégration. Une hiérarchisation des priorités est également nécessaire pour maximiser l'efficacité ou la valeur de chaque action.

2.3 Méthodologie de la recherche utilisée dans le cadre de l'étude

2.3.1 Etude Delphi

Une étude Delphi à deux rondes est utilisée pour valider le cadre conceptuel. La technique Delphi consiste à demander à un ensemble de personnes de répondre confidentiellement à une série de questions sur une estimation statistique individuelle, comme la probabilité qu'un incident se produise ou le moment où il se produit. Les réponses sont ensuite combinées, ou agrégées, par un facilitateur dans un résumé statistique de la réponse du groupe, avec éventuellement les explications des réactions incluses (Belton et al., 2019). En outre, (Belton et al., 2019) ont proposé que les participants aient ensuite la possibilité de soumettre une réponse révisée ou de soumettre à nouveau leur réponse initiale après avoir évalué la diversité des réponses reçues. Cette répétition et ce mécanisme de retour contrôlé se déroulent sur plusieurs "itérations" jusqu'à ce qu'un modèle cohérent de réponses émerge, comme un accord évident ou une dissension importante. Les experts des domaines de la SCA, de l'IdO et de la

durabilité ont participé à cette étude. De plus, les experts sont issus à la fois de l'industrie et du monde académique afin d'éviter les biais des implications théoriques et pratiques du cadre. La figure 14 illustre la technique Delphi utilisée pour la validation du cadre.

L'échelle de Likert à 5 points est utilisée pour cette étude car il s'agit d'une échelle psychométrique utilisée dans les réponses aux questionnaires pour évaluer la perception (Wadgave and Khairnar, 2016). Le consensus (harmonie) est la projection de l'opinion majoritaire des experts avec leur accord sur ce sujet particulier et présente en pourcentage. (Foth et al., 2016) indiquent que la valeur seuil de l'acceptation de l'accord parmi les participants est un minimum de 75%. Donc, l'étude a pris le seuil minimum de 75% pour cette recherche, ce qui signifie que le score des questions supérieur à 75% relèvera du consensus. Le score des questions individuelles est calculé comme suit :

- Tout d'abord, le calcul de la moyenne des réponses multiples pour une question particulière.

$$\boldsymbol{Moyenne} = \frac{\sum_0^n \boldsymbol{indice\ de\ réponce}}{\boldsymbol{n}} \quad \textbf{(1)}$$

Où n = nombre de réponses d'experts

Ensuite, le calcule du pourcentage de la moyenne.

$$\boldsymbol{Pourcentage} = \frac{\boldsymbol{Moyenne}}{\boldsymbol{m}} \quad \textbf{(2)}$$

Où m= valeur numérique maximale de l'échelle, qui est de '5' dans ce cas.

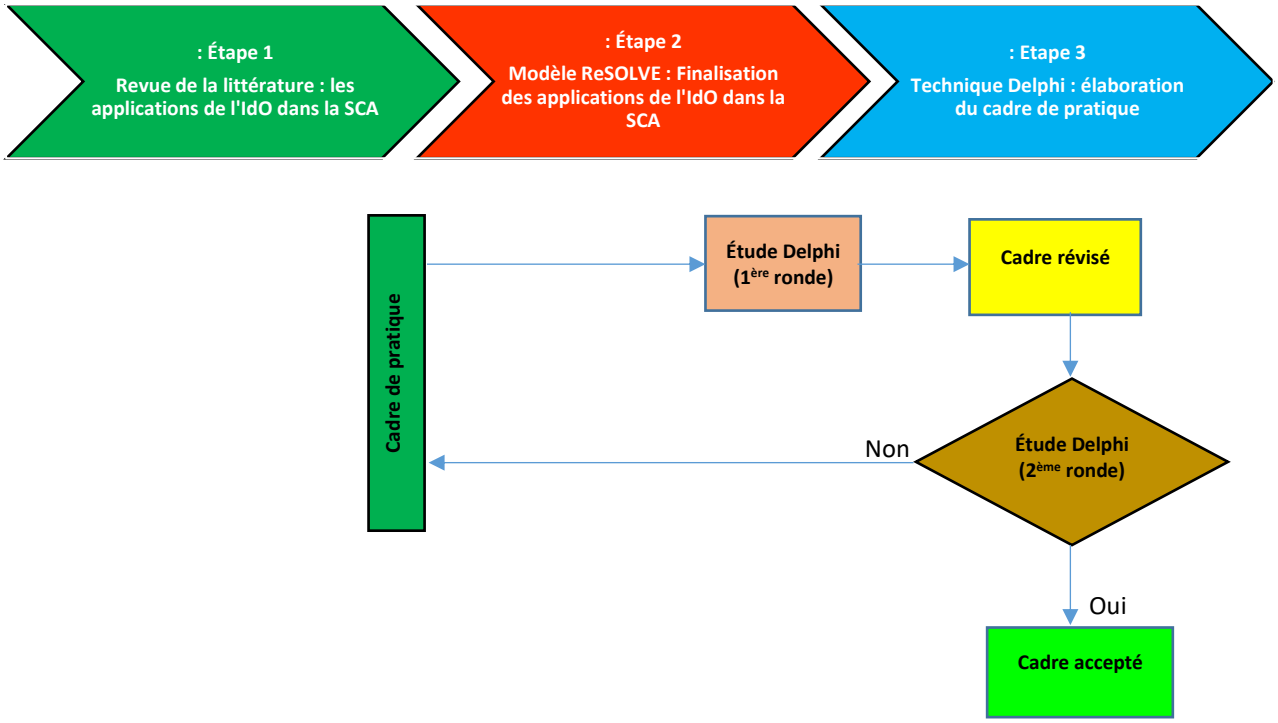


Figure 14: Méthodologie de recherche.

(Source: Élaboration des auteurs)

Le questionnaire présente quatre sections (rectifications des parties prenantes) et 29 facteurs représentant les rectifications des parties prenantes. Le cadre conceptuel a été présenté aux experts afin de mieux comprendre l'étude. Les experts ont été sélectionnés à partir de diverses plateformes professionnelles telles que ResearchGate, Google Scholar, LinkedIn, les pages Web des universités et les conférences. La recherche a choisi 78 experts contactés par e-mail. Sur les 78 experts, 37 ont accepté de participer à cette étude (cf. Annexe 1, p.178). La validation de l'enquête a été effectuée par un test pilote auprès de 15 personnes, qui n'avaient pas d'antécédents liés aux SCA, à l'IdO et à la durabilité. De cette façon, le questionnaire a été vérifié sans erreur de grammaire, et il a été réalisé en un mois. Après l'essai pilote, le questionnaire a été envoyé aux experts pour qu'ils y répondent. Par conséquent, le premier cycle de l'étude Delphi a été réalisé en trois mois maximum. Le résumé du profil des experts et leur taux de réponse sont présentés dans le tableau 11.

Pour la deuxième ronde de l'étude Delphi, un contact a été établi avec 37 experts, et seuls 32 experts ont répondu et accepté de participer à cette étude. Cette étude s'est déroulée sur deux mois.

Tableau 11: Les experts ayant participé à l'étude Delphi (rondes 1 et 2).

Numéro de série	Experts	Total des répondants contactés (1er ronde)	Réponse reçue (1erronde)	Total des répondants contactés (2ème ronde)	Réponse reçue (2ème ronde)
1.	Consultants en supply chain	10	7(70%)	7	5 (71.42%)
2.	Experts académiques	15	7 (46.67%)	7	7 (100%)
3.	Consultants en IdO	11	6 (54.54%)	6	5 (83.33%)
4.	Experts de l'industrie	25	10 (40%)	10	9 (90%)
5.	consultants en développement durable	17	7 (41.17%)	7	6 (85.71%)
TOTAL		**78**	**37**	**37**	**32**

(Source: Élaboration des auteurs)

2.3.2 Modèle ReSOLVE

La Fondation Ellen MacArthur (Sillanpaa and Necibi, 2019) a établi le modèle ReSOLVE, qui illustre la manière dont les six aspects de régénérer, de partager, d'optimiser, de boucler, de virtualiser et d'échanger sont conçus dans les pratiques commerciales de l'économie circulaire.

- *Régénérer* cela est dû à un changement des matériaux et de l'énergie vers des sources renouvelables. Les cycles biologiques sont utilisés pour permettre aux matériaux et à l'énergie de circuler, ainsi que pour transformer les déchets organiques en matières premières et en énergie pour les chaînes suivantes (Kouhizadeh et al., 2020).

- *Partager* est construit sur un modèle d'économie de partage, où la propriété est minimale et où les biens et les ressources sont partagés entre les personnes. Les produits doivent donc être conçus pour durer plus longtemps, avec des options d'entretien accessibles pour encourager leur réutilisation et prolonger leur durée de vie (Kouhizadeh et al., 2020).

- *Optimiser* un processus axé sur la technologie. Pour éliminer le gaspillage dans les systèmes de production tout au long des supply chains, cette approche nécessite que les entreprises intègrent la technologie de fabrication numérique telle que l'automatisation, les capteurs, l'IDRF, le guidage à distance et le big data. Les performances accrues aideront les organisations ; par exemple, un programme de maintenance prédictive pourrait être établi en utilisant des données factuelles concernant l'état des équipements (Kouhizadeh et al., 2020).

- *Boucler* ceci est basé sur des cycles en biologie et technologie. Le traitement écologique est essentiel pour récupérer le potentiel des biodéchets, et les processus technologiques tels que la réutilisation, la réparation, la refabrication et le recyclage peuvent faire de même pour les emballages et les biens de post-consommation. Ces options ont été étudiées à l'aide de méthodes de recherche opérationnelle (Kouhizadeh et al., 2020).

- *Virtualiser* une stratégie orientée service qui privilégie les produits dématérialisés et virtuels par rapport aux produits physiques (Kouhizadeh et al., 2020).

- *Échanger* cela implique de remplacer les articles non renouvelables par des alternatives sophistiquées et renouvelables (Kouhizadeh et al., 2020). En utilisant un modèle de dynamique des systèmes. (Keilhacker and Minner, 2017) montrent que le remplacement a un grand pouvoir pour minimiser l'instabilité de la supply chain induite par l'utilisation de ressources terrestres rares.

La matrice du tableau 12 a été créée en reliant les parties prenantes clés de la SCA (fournisseurs, constructeurs de véhicules, clients) aux six stratégies commerciales fournies par le modèle ReSOLVE ; nous fournissons également les caractéristiques de l'IdO pour chaque interaction.

Tableau 12: Matrice relationnelle illustrant la complexité de la liaison entre l'IdO et la SCA.

ReSOLVE	**Principaux intervenants (fournisseurs, constructeurs de véhicules, clients)**	**Caractéristiques essentielles de l'IdO**
Régénérer (*Regenerate)*	Les fournisseurs auront besoin d'informations actualisées sur une variété de matières premières renouvelables, alternatives et à moindre impact, en collaboration avec les fabricants – notamment les entreprises focales.	Concept de gestion du cycle de vie des produits (GCP) assisté par l'IdO pour améliorer la conception des produits, comme les composants remplaçables ou modulaires, l'efficacité opérationnelle, la cyber-résilience. Il n'y a pas besoin d'intermédiaires qui n'apportent pas de valeur, échange simple et rapide avec des frais réduits. Opérations commerciales digitale utilisant les facilitateurs de l'IdO et les contrats intelligents, Réduction des erreurs humaines.
Partager (Share)	Les clients seront essentiels pour recueillir des informations sur les marchandises prêtes à être partagées.	Les dispositifs intelligents transforment les déchets en ressources précieuses, et les données sur les articles post-consommation sont mises à disposition pour des opérations de commande appropriées, ce qui permet la coopération et l'intégration dans la SCA. Concurrence commerciale (par exemple, cybersécurité renforcée, réduction des frais de transaction, intégration complète de l'IdO), diversité des marchés (par exemple, encourager le covoiturage), permettre de nouveaux modèles commerciaux, rétablir l'équilibre de l'information entre les parties prenantes.
Optimiser (Optimize)	Les fabricants joueront un rôle essentiel dans la création d'un système de fabrication/approvisionnement sans déchets. Les informations sur les déchets (créés et évités) et leur impact sur les performances de l'entreprise seront essentiels.	La fin de vie du produit est évaluée du point de vue de la refabrication, ce qui nécessite une collaboration entre les partenaires de la SCA rendue possible par l'IdO. Les informations complètes sur la provenance et la traçabilité de chaque actif clé sont accessibles à toutes les parties prenantes (par exemple, les producteurs, les propriétaires de voitures, les vendeurs, les organismes

		d'assurance et les contrôleurs gouvernementaux).
Boucler (Loop)	Le maintien des matériaux dans des boucles fermées nécessitera des données partagées entre les trois parties prenantes. Les informations sur la traçabilité des produits tout au long de leur cycle de vie et des boucles seront cruciales.	Responsabilité, données immuables horodatées, vérifiées et auditables. Aucune donnée n'a été perdue, altérée ou falsifiée. Cryptographie moderne et sécurité, non-répudiation, accessibilité globale et transparence.
Virtualiser (Virtualize)	L'acceptabilité des services virtualisés. La compréhension des besoins et des produits des consommateurs est au centre de cette stratégie de la SCA. Les fabricants voudront disposer d'informations précises sur les préférences des consommateurs.	Les dispositifs de l'IdO remplacent le monde physique par le monde virtuel. La provenance et la traçabilité des actifs, l'échange fluide de valeurs et la preuve dynamique de la propriété, des droits et de la responsabilité.
Échanger (Eschange)	Les fabricants joueront un rôle crucial dans la mise en œuvre de ce plan, car ils peuvent remplacer des procédés obsolètes par des procédés plus durables.	Les produits neufs vierges sont remplacés par des produits remanufacturés (écologiques). L'approche traditionnelle de fabrication par poussée est remplacée par un système par traction qui permet la personnalisation de masse. Ceci est accompli par des appareils connectés intelligents qui se connectent à l'IdO et un système cyber-physique qui collecte des données pour la SCA.

(Source: Élaboration des auteurs)

2.3.3 Cadre conceptuel de recherche

Comme nous l'avons vu précédemment, la SCA évolue dans un monde imprévisible, et l'IdO devient chaque jour plus essentiel pour les opérations de la SCA. Trois catégories peuvent être utilisées pour classer les utilisations actuelles et futures de l'IdO dans la SCA : la supervision commerciale et industrielle précise (Zhao et al., 2019), la surveillance des véhicules en temps réel (Pendor and Tasgaonkar, 2016), et la gestion des transports en temps réel (Chauhan et al., 2020). Le concept a montré l'emploi de la technologie de l'IdO pour mettre les activités liées à l'automobile sous surveillance en temps réel. Cela contribuera à la réduction des dépenses de maintenance et d'exploitation, à l'amélioration de la productivité, à l'assurance de la sécurité et de la transparence organisationnelle, au confort et à la sécurité des piétons et des utilisateurs de véhicules, et à de nombreux autres aspects positifs. Nous avons présenté ici une approche de mise en œuvre qui, comme le montre la figure 15, évalue de manière holistique les opérations de la SCA dans le cadre du modèle ReSOLVE en utilisant l'IdO. La méthode Delphi sera utilisée pour évaluer ce cadre.

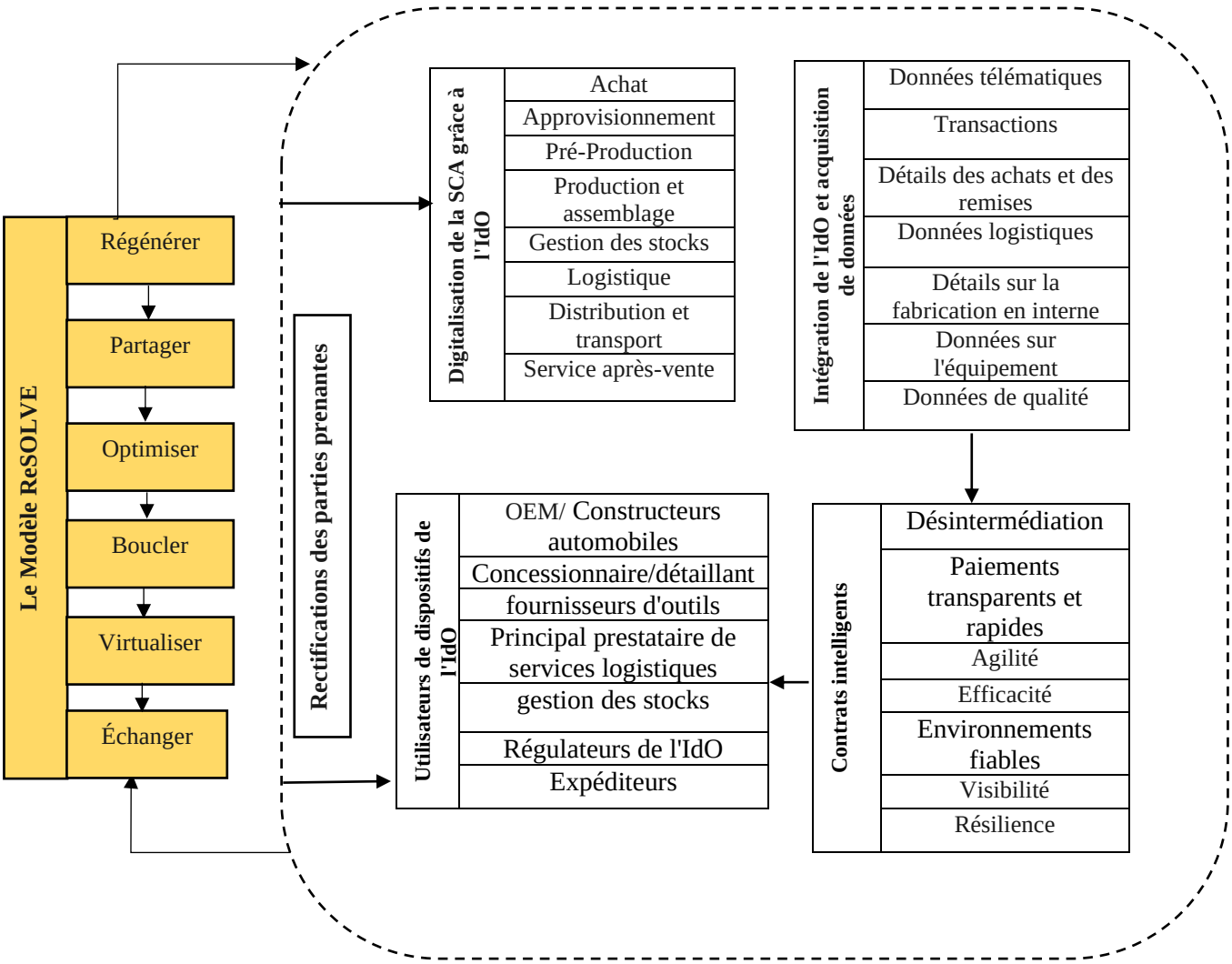


Figure 15: Cadre proposé de la mise en œuvre de l'IdO - SCA durable.

(Source: Élaboration des auteurs)

2.4 Validation du cadre

La méthode Delphi consiste à poser de nombreuses séries de questions et à faire savoir au panel ce que la communauté dans son ensemble pense pour arriver à la bonne réponse par consensus. Le consensus peut être atteint au fil du temps, au fur et à mesure que les opinions se persuadent, ce qui rend la procédure très efficace. Par conséquent, cette recherche a utilisé une étude Delphi

à deux rondes, et les résultats des deux rondes sont présentés plus loin. Les réponses des experts des rondes 1 et 2 de l'étude Delphi sont présentées dans les tableaux 13 et 14.

2.4.1 Étude Delphi (Ronde 1)

Au cours du premiere ronde, les réponses aux critères préétablis ont été analysées afin d'établir un consensus. Il est généralement admis que l'essence de la technique Delphi est la recherche du consensus. Contrairement aux enquêtes par questionnaire, qui demandent l'avis de non-experts sur un sujet, la technique Delphi vise à déterminer l'opinion des experts sur le sujet lié au supply chain automobile, à l'IdO et à la durabilité . L'étude Delphi doit donc veiller à ce que toutes les questions fassent l'objet d'un consensus. Dans les études Delphi, un consensus est difficile à quantifier. La littérature a montré qu'il n'y a pas de consensus sur la façon d'évaluer l'accord entre un groupe de points de vue, comme cela a été dit plus haut. Selon (Holey et al., 2007), le consensus pourrait être établi par les méthodes suivantes : la somme des évaluations, un changement vers un degré perçu d'une distribution normale ou, alternativement, en prouvant la cohérence des réponses tout au long des rondes de l'étude pour montrer la constance des réponses.

Pour la premiere ronde, l'étude a trouvé un score plus faible pour trois facteurs, qui sont les expéditeurs (65,40%), la gestion des stocks (71,89%) et la résilience (65,40%) - comme le montre le tableau 13. Les scores de ces trois facteurs sont inférieurs à 75%, ce qui est le taux minimum acceptable pour cette étude. Cela signifie que les experts n'ont pas un consensus mutuel sur ces trois facteurs, ce qui conduit à retirer trois facteurs du cadre.

2.4.2 Étude Delphi (ronde 2)

La deuxième ronde de l'étude avait pour but de permettre aux experts d'examiner et de discuter les agents qui composent les rectifications des parties prenantes ainsi que d'autres préoccupations concernant les risques potentiels qui peuvent apparaître au cours du processus d'intégration, qui ont été proposés par les experts lors du premiere ronde.

Dans l'étude Delphi de la deuxième ronde, nous avons retiré ces trois facteurs - expéditeurs, gestion des stocks et résilience - du cadre, ce qui conduit à considérer 26 facteurs finaux sur les 29 facteurs initiaux. De plus, au deuxième ronde, l'étude a trouvé un score plus bas pour le facteur "Pré-production" qui est de 75%. Le score le plus bas de cette étude est supérieur au taux minimum acceptable (75%) comme le montre le tableau 14. Cela signifie que les experts ont un consensus mutuel sur tous les facteurs et qu'il n'y a aucun facteur à supprimer du cadre. Un autre élément intéressant a été découvert après l'étude Delphi à deux rondes. Le consensus général pour chaque "Rectification des parties prenantes" s'est amélioré au deuxième ronde. Cela signifie que les experts sont mutuellement d'accord avec la deuxième modification. Par conséquent, après ces études Delphi à deux rondes, le cadre a été finalisé et validé.

Tableau 13: Réponses des experts à l'étude Delphi (Ronde 1).

Ronde 1										
Groupes de facteurs dans le modèle ReSOLVE			**Nombre de réponses pour chaque facteur**					**Calcul du consensus en pourcentage (%)**	**Consensus individuel (%)**	**Consensus général (%)**
Numéro de série	**Rectifications des intervenants**	**Composants connexes**	**(1)**	**(2)**	**(3)**	**(4)**	**(5)**			
1	Utilisateurs de dispositifs de l'IdO	Fabricants d'équipements d'origine/ Constructeurs automobiles	3	2	8	8	16	[{((1*3+2*2+3*8+4*8+5*16)/37)/5}*100]	77.29%	78.30%
		Concessionnaire/ détaillant	4	1	5	9	18	[{((1*4+2*1+3*5+4*9+5*18)/37)/5}*100]	79.46%	
		fournisseurs d'outils	3	3	7	9	15	[{((1*4+2*1+3*5+4*9+5*18)/37)/5}*100]	76.21%	
		Principal prestataire de services logistiques	1	1	3	11	21	[{((1*4+2*1+3*3+4*11+5*21)/37)/5}*100]	87.02%	
		gestion des stocks	2	2	4	7	22	[{((1*2+2*2+3*4+4*7+5*22)/37)/5}*100]	84.32%	
		Régulateurs de l'IdO	5	0	3	14	15	[{((1*5+2*0+3*3+4*14+5*15)/37)/5}*100]	78.38%	
		Expéditeurs	4	5	5	10	13	[{((1*4+2*5+3*5+4*10+5*13)/37)/5}*100]	65.40%	
2	Digitalisation des SCA grâce à l'IdO	Achat	0	1	3	12	21	[{((1*0+2*1+3*3+4*12+5*21)/37)/5}*100]	87.02%	80.27%
		Approvisionnement	3	3	4	7	20	[{((1*3+2*3+3*4+4*7+5*20)/37)/5}*100]	80.54%	
		Pré-production	1	4	2	4	26	[{((1*1+2*4+3*2+4*4+5*26)/37)/5}*100]	87.02%	
		Production et assemblage	4	3	2	6	22	[{((1*4+2*3+3*2+4*6+5*22)/37)/5}*100]	81.08%	
		Gestion des stocks	5	5	4	9	14	[{((1*5+2*5+3*4+4*9+5*14)/37)/5}*100]	71.89%	
		Logistque	2	2	5	10	18	[{((1*4+2*1+3*5+4*9+5*18)/37)/5}*100]	81.62%	
		Distribution et transport	3	4	3	14	13	[{((1*3+2*4+3*3+4*14+5*13)/37)/5}*100]	76.21%	
		Service après-vente	4	1	8	8	16	[{((1*4+2*1+3*8+4*8+5*16)/37)/5}*100]	76.75%	
3	Intégration de l'IdO et acquisition de données	Données télématiques	0	3	4	10	20	[{((1*0+2*3+3*4+4*10+5*20)/37)/5}*100]	85.40%	80.58%
		Transactions	1	2	7	14	13	[{((1*1+2*2+3*7+4*14+5*13)/37)/5}*100]	79.46%	

		Détails des achats et des remises	5	0	3	11	18	[{((1*4+2*1+3*5+4*9+5*18)/37)/5}*100]	76.52%	
		Données logistiques	3	3	3	8	20	[{((1*3+2*3+3*3+4*8+5*20)/37)/5}*100]	81.08%	
		Détails sur la fabrication en interne	4	1	6	11	15	[{((1*4+2*1+3*6+4*11+5*15)/37)/5}*100]	77.29%	
		Données sur l'équipement	2	1	4	6	24	[{((1*4+2*1+3*4+4*6+5*24)/37)/5}*100]	86.49%	
		Données de qualité	3	4	2	13	15	[{((1*3+2*4+3*2+4*13+5*15)/37)/5}*100]	77.84%	
4	Contrats intelligents	Désintermédiation	3	0	0	10	24	[{((1*3+2*0+3*0+4*10+5*24)/37)/5}*100]	88.10%	79.68%
		Paiements transparents et rapides	0	0	4	15	18	[{((1*0+2*0+3*4+4*15+5*18)/37)/5}*100]	87.57%	
		Agilité	2	5	4	5	21	[{((1*2+2*5+3*4+4*5+5*21)/37)/5}*100]	80.54%	
		Efficacité	4	2	2	15	14	[{((1*4+2*2+3*2+4*15+5*14)/37)/5}*100]	77.84%	
		Environnements fiables	3	5	1	9	19	[{((1*3+2*5+3*1+4*9+5*19)/37)/5}*100]	79.46%	
		Visibilité	4	1	5	10	17	[{((1*4+2*1+3*5+4*10+5*17)/37)/5}*100]	78.91%	
		Résilience	7	6	5	8	11	[{((1*7+2*6+3*5+4*8+5*11)/37)/5}*100]	65.40%	

(Source: Élaboration des auteurs)

" **(1)** Fortement en désaccord – **(2)** Désaccord – **(3)** Ni en désaccord ni d'accord – **(4)** D'accord – **(5)** Fortement d'accord "

Tableau 14: Réponses des experts à l'étude Delphi (Ronde 2).

Ronde 2										
Groupes de facteurs dans le modèle ReSOLVE			**Nombre de réponses pour chaque facteur**					**Calcul du consensus en pourcentage (%)**	**Consensus individuel (%)**	**Consensus général (%)**
Numéro de série	**Rectifications des intervenants**	**Composants connexes**	**(1)**	**(2)**	**(3)**	**(4)**	**(5)**			
1	Utilisateurs de dispositifs de l'IdO	Fabricants d'équipements d'origine/ Constructeurs automobiles	3	2	2	5	20	[{((1*3+2*2+3*2+4*5+5*20)/32)/5}*100]	83.12%	81.76%
		Concessionaire/ détaillant	4	3	0	10	15	[{((1*4+2*3+3*0+4*10+5*15)/32)/5}*100]	78.12%	
		fournisseurs d'outils	1	4	2	9	16	[{((1*1+2*4+3*2+4*9+5*16)/32)/5}*100]	81.88%	
		Principal prestataire de services logistiques	2	2	1	11	16	[{((1*2+2*2+3*1+4*11+5*16)/32)/5}*100]	83.12%	
		gestion des stocks	1	1	3	15	12	[{((1*1+2*1+3*3+4*15+5*12)/32)/5}*100]	82.50%	
		Régulateurs de l'IdO	3	1	2	10	16	[{((1*3+2*1+3*2+4*10+5*16)/32)/5}*100]	81.87%	
2	Digitalisation des SCA grâce à l'IdO	Achat	4	0	0	13	15	[{((1*4+2*0+3*0+4*13+5*15)/32)/5}*100]	87.02%	81.44%
		Approvisionnement	1	3	3	7	18	[{((1*1+2*3+3*3+4*7+5*18)/32)/5}*100]	83.75%	
		Pré-production	5	2	0	14	11	[{((1*5+2*2+3*0+4*14+5*11)/32)/5}*100]	75%	
		Production et assemblage	2	1	3	7	19	[{((1*2+2*1+3*3+4*7+5*19)/32)/5}*100]	85%	
		Logistique	3	3	0	6	20	[{((1*3+2*3+3*0+4*6+5*20)/32)/5}*100]	83.12%	
		Distribution et transport	2	2	4	13	11	[{((1*2+2*2+3*4+4*13+5*11)/32)/5}*100]	76.87%	
		Service après-vente	3	0	5	11	13	[{((1*3+2*0+3*5+4*11+5*13)/32)/5}*100]	79.37%	
3	Intégration de l'IdO et acquisition de données	Données télématiques	2	4	0	8	18	[{((1*2+2*4+3*0+4*8+5*18)/32)/5}*100]	82.50%	84.01%
		Transactions	1	1	1	11	18	[{((1*1+2*1+3*1+4*11+5*18)/32)/5}*100]	87.50%	
		Détails des achats et des remises	2	1	4	8	17	[{((1*2+2*1+3*4+4*8+5*17)/32)/5}*100]	83.12%	

		Données logistiques	3	2	1	7	19	[{((1*3+2*2+3*1+4*7+5*19)/32)/5}*100]	83.12%	
		Détails sur la fabrication en interne	2	2	4	8	16	[{((1*2+2*2+3*4+4*8+5*16)/32)/5}*100]	81.25%	
		Données sur l'équipement	3	1	3	10	15	[{((1*3+2*1+3*3+4*10+5*15)/32)/5}*100]	80.62%	
		Données de qualité	4	0	0	15	13	[{((1*4+2*0+3*0+4*15+5*13)/32)/5}*100]	90%	
4	Contrats intelligents	Désintermédiation	2	5	2	6	17	[{((1*2+2*5+3*2+4*6+5*17)/32)/5}*100]	79.37%	82.81%
		Paiements transparents et rapides	0	0	5	15	12	[{((1*0+2*0+3*5+4*15+5*12)/32)/5}*100]	84.37%	
		Agilité	4	1	0	6	21	[{((1*4+2*1+3*0+4*6+5*21)/32)/5}*100]	84.37%	
		Efficacité	1	0	1	13	17	[{((1*1+2*0+3*1+4*13+5*17)/32)/5}*100]	88.12%	
		Environnements fiables	2	4	2	11	13	[{((1*2+2*4+3*2+4*11+5*13)/32)/5}*100]	78.12%	
		Visibilité	1	3	3	9	16	[{((1*1+2*3+3*3+4*9+5*16)/32)/5}*100]	82.50%	

(Source: Élaboration des auteurs)

Note : " **(1)** Fortement en désaccord – **(2)** Désaccord – **(3)** Ni en désaccord ni d'accord – **(4)** D'accord – **(5)** Fortement d'accord "

2.5 Discussion

Dans l'étude décrite dans ce chapitre, la méthode Delphi a servi d'étape initiale pour fournir un cadre conceptuel pour l'intégration de la technologie de l'IdO dans une SCAD , en décrivant les actions potentielles et en classant les risques potentiels qui pourraient se matérialiser au cours du processus d'intégration. La méthode Delphi s'est avérée être un outil inestimable pour valider les informations fournies dans la littérature lors de l'élaboration d'une théorie. En outre, elle s'est avérée être une étape cruciale dans l'examen approfondi des difficultés psychosomatiques des établissements humains. Cependant, la réalisation d'une enquête Delphi nécessite une gestion attentive des panélistes et des données recueillies. 29 facteurs qui constituent les rectifications des acteurs sont présentés dans les quatre sections du questionnaire de l'étude (rectifications des acteurs). Pour aider les experts à mieux comprendre l'étude, le cadre conceptuel leur a été présenté (cf. Annexe 1, p.178). 78 experts ont été choisis pour l'étude et contactés par courrier électronique. 37 experts sur 78 ont accepté de participer à cette étude. La validité du questionnaire a été testée dans le cadre d'une étude pilote auprès de 15 personnes qui n'avaient aucune connaissance préalable de la SCA, de l'IdO et de la durabilité . Le cadre conceptuel est validé à l'aide d'une étude Delphi à deux rondes. Chaque expert a été interrogé lors de la ronde préliminaire. Lors de cette session, les parties du cadre ont fait l'objet de demandes de feedback qualitatif de la part des experts. Ils ont également été invités à proposer des facteurs de réussite et des efforts de mise en œuvre de la SCAD dans le cadre de l'IdO . Trois facteurs - les expéditeurs (65,40 %), la gestion des stocks (71,89 %) et la résilience (65,40 %) - ont obtenu des scores inférieurs lors du première ronde. Les scores de ces trois critères sont inférieurs au niveau minimum autorisé pour cette étude, qui est de 75%. Cela indique que les experts ne sont pas d'accord sur ces trois variables, ce qui entraîne la suppression de trois facteurs du cadre. En raison de la suppression de ces trois facteurs du cadre lors de la deuxième ronde de la technique Delphi, seuls 26 critères finaux - sur les 29 initiaux - ont été pris en considération. Un score plus faible de 75% a été observé pour le facteur "Pré-production" lors de la deuxième ronde de l'enquête. Le score le plus bas dans cette étude est supérieur au minimum requis (75%). Il indique que tous les experts sont d'accord sur tous les facteurs, ce qui empêche l'élimination de certains facteurs du cadre. À la suite de l'étude Delphi à deux rondes, une autre constatation intrigante a été faite. Par rapport à la ronde initiale, le consensus général pour chaque "rectification des parties prenantes" était meilleur. Cela indique que davantage d'experts sont d'accord sur la deuxième modification. Le cadre a donc été complété et validé à la suite de ces deux rondes d'études Delphi.

Le cadre a été mis à jour et amélioré à la lumière des résultats de cette étude Delphi. Le cadre final de déploiement de l'IdO dans la SCAD est illustré à la figure 16. Afin d'augmenter les chances de réussite de l'opération d'intégration, le cadre est conçu pour permettre aux praticiens de mieux comprendre la manière d'intégrer la technologie de l'IdO dans une SCAD, préciser les actions appropriées et hiérarchiser les risques potentiels qui peuvent apparaître.

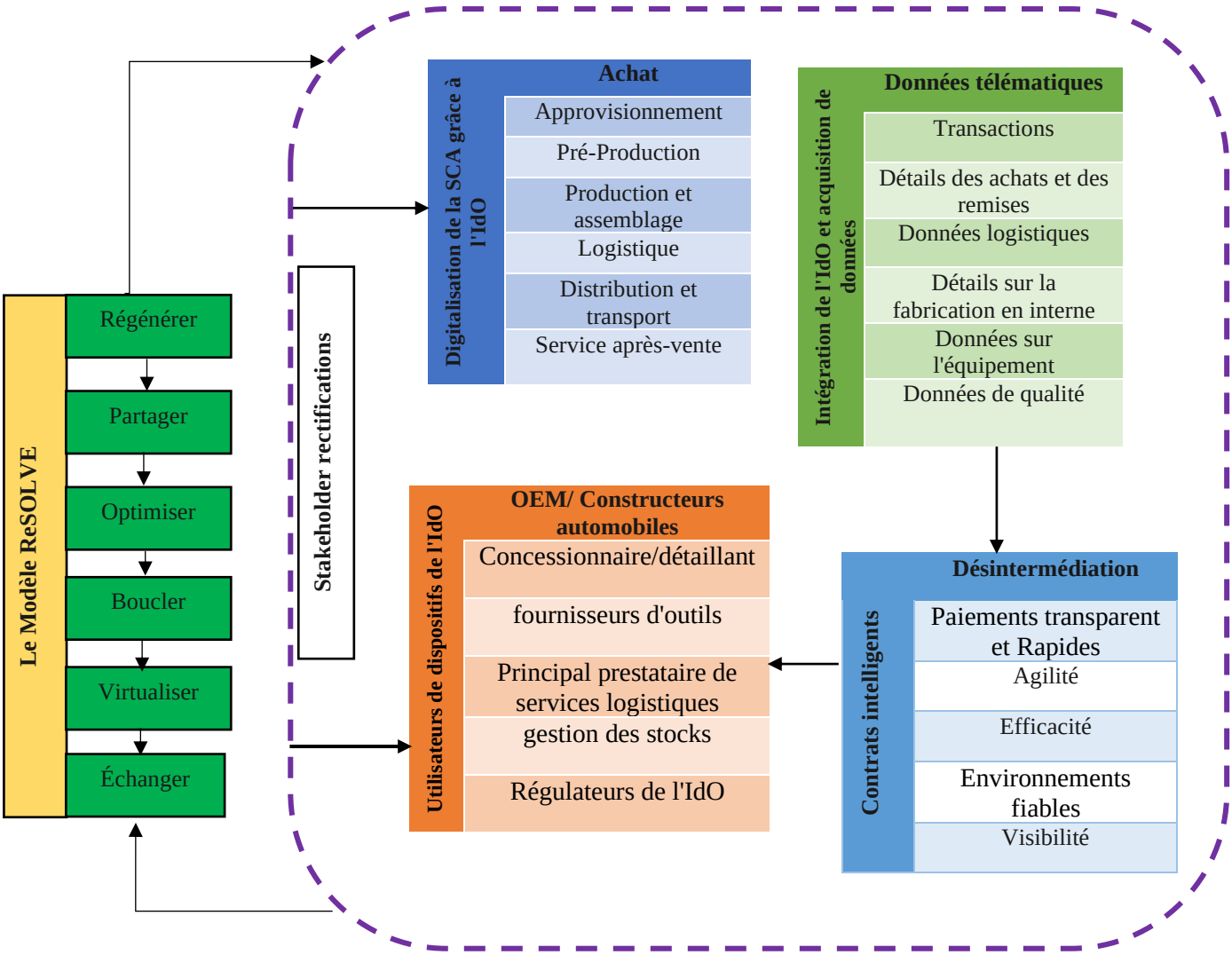


Figure 16: Cadre final de la mise en œuvre de l'IdO - SCA durable.

(Source: Élaboration des auteurs)

2.6 Conclusion

En utilisant une combinaison du modèle ReSOLVE et de la technique Delphi, ce chapitre a examiné l'expérience des chercheurs dans la mise en œuvre de la technologie de l'IdO dans une SCAD. L'objectif de ce chapitre était de soutenir un cadre pour la mise en œuvre du SCAD dans l'IdO. Sur les 78 experts invités à participer à l'étude, 32 spécialistes l'ont finalement terminée, ce qui prouve que les critères établis pour trouver les experts de l'étude ont porté leurs fruits. En dépit de ses difficultés et de son caractère fastidieux Les résultats de la méthode Delphi sont restés stables après deux rondes, et le cadre a été achevé et validé. L'étude comble largement les lacunes de la recherche dans la littérature en offrant des détails utiles sur l'examen du potentiel de l'IdO dans la SCAD. Les critères établis pour parvenir à un consensus en utilisant une variété de facteurs se sont également avérés importants, car un ou deux éléments

seulement pourraient être incorrects et produiraient des résultats erronés. Le taux de consensus élevé de l'étude, compte tenu du fait qu'elle a fait appel à deux rondes séquentielles de Delphi, démontre en outre le succès de la sélection des experts et du sujet du débat.

De grandes quantités de données précises et opportunes peuvent être recueillies avec la technologie de l'IdO dans la SCAD, ce qui permet de détecter plus tôt les déviations. L'accessibilité des données concernant la position précise, ou l'état des biens ou de l'écosystème facilite la capacité à reconnaître la nature des problèmes potentiels et à prendre les mesures nécessaires. En mettant en place des alertes précoces sur les irrégularités du système qui se manifestent, par exemple, par des retards dans l'heure d'arrivée prévue (HAP), il est possible de réagir plus rapidement. Les données historiques du système de l'IdO peuvent être enregistrées et examinées pour aider à identifier les problèmes, améliorer les performances et créer des projections futures plus précises. L'étude a également porté sur les conséquences pour les managers, les chercheurs et les praticiens. Cette étude comporte toutefois certaines restrictions. Ces restrictions offrent des lignes directrices pour d'éventuelles recherches futures sur ce sujet. La petite taille du groupe d'experts qui a participé à cette étude est l'une de ses principales lacunes. (Skulmoski et al., 2007) affirment que des échantillons de plus grande taille pourraient produire des résultats plus concluants. Enfin, le cadre final doit être testé sur le terrain car le processus de validation est toujours en cours. Le cadre achevé sera donc évalué et utilisé dans des environnements de travail réels dans le cadre de recherches ultérieures afin de le renforcer davantage et d'éliminer les défauts qu'il pourrait présenter.

En tant que première contribution, ce chapitre exploite un domaine de recherche du management de la supply chain durable - le secteur automobile - en utilisant une technologie de transformation digitale cruciale - l'Internet des objets. De nombreuses questions de recherche liées à ce domaine pourraient être identifiées et étudiées plus avant. Par exemple, la question la plus intéressante est d'étudier l'activité la plus importante dans la SC qui affecte la performance du management durable de la supply chain. En outre, le chapitre 3 met l'accent sur la gestion des stocks d'entrepôt car il s'agit d'une activité majeure du MSC qui représente une grande partie des coûts logistiques d'une entreprise. Par exemple, selon un rapport de l'ASLOG (association logistique en France), le coût de stockage correspond en moyenne à 80% du coût logistique total qui représente au moins 12% du chiffre d'affaires net des entreprises. En 2020, le coût de l'entreposage a atteint 144,6 milliards d'euros en France. (Ginters and Martin-Gutierrez, 2013) soulignent que le coût de la logistique des entreprises en pourcentage du produit intérieur brut américain a atteint 9,5 %, et que sur les plus de 1 billion de dollars dépensés en logistique, environ 33 % peuvent être attribués au coût de détention des stocks. Ainsi, une bonne gestion des stocks et des activités d'entreposage est tout à fait essentielle pour la performance économique et la compétitivité des entreprises et de leur pays. Dans la même veine, la durabilité est de plus en plus essentielle et constitue un catalyseur crucial pour la création de systèmes d'entrepôt résilients. L'incertitude influence les critères qualitatifs d'évaluation de la performance de la gestion écologique des stocks d'entrepôt. Selon les chercheurs (Adat and Gupta, 2018; Cui et al., 2021a; Roy and Roy, 2019), les innovations technologiques telles que l'Internet des Objets (IdO) pourraient être utilisées pour aider les opérations de gestion des stocks d'entrepôt à atteindre la durabilité à long terme. Figure 17 montre une vue d'ensemble de la corrélation entre les chapitres 2 et 3

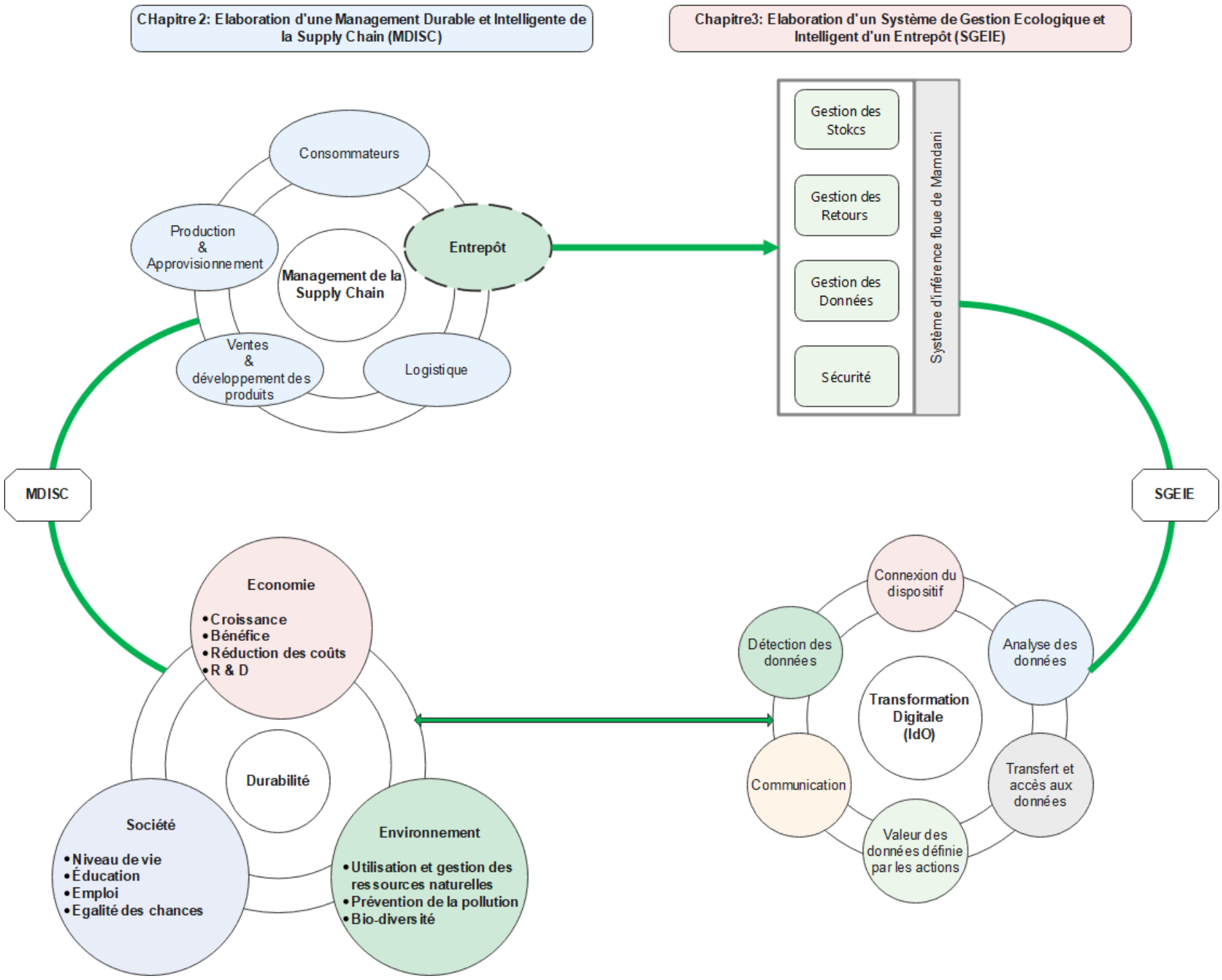


Figure 17: Vue d'ensemble de la corrélation entre les chapitres 2 et 3.

(Source: Élaboration des auteurs)

Chapitre 3. Élaboration d'un système de gestion écologique et intelligente d'entrepôts des pièces automobiles

3.1 Introduction 91
3.2 Contexte théorique 92
3.2.1 Gestion écologique des stocks d'entrepôt 92
3.2.2 L'IdO dans le système de la GESE 97
3.2.3 Ensembles flous : concepts de base 100
3.3 Méthodologie de la recherche 100
3.3.1 Détermination de la fonction d'appartenance 102
3.3.2 Identification des règles floues 104
3.3.3 Défuzzification 105
3.4 Étude de cas : Evaluation de l'application de l'IdO dans la GESE 106
3.5 Discussion 108
3.6 Conclusion 110

3.1 Introduction

Au cours des dernières décennies, le monde des affaires a connu une augmentation significative de la sensibilisation, des attentes et de la demande des clients (Yu et al., 2021). Dans le même ordre d'idées, l'augmentation des préoccupations environnementales et sociétales et les inquiétudes croissantes concernant la consommation d'énergie, les émissions et les déchets de produits, en plus des politiques sévères, entraînent une accélération des contraintes pour les entreprises (Hariyani and Mishra, 2022). Pour se préparer et résister à cet ensemble de changements, les managers sont toujours appelés à innover dans l'organisation de leurs entreprises avec de nouvelles stratégies de différenciation pour gagner de nouvelles parts de marché.

La durabilité est celle qui met l'accent sur la gestion des stocks des entrepôts dans le cadre d'une supply chain. Cela est particulièrement vrai si les questions de transport, de localisation ou d'acheminement sont également prises en considération (Bennani et al., 2022; Becerra et al., 2021; Tronnebati and Jawab, 2020). À cet égard, l'attention portée à la durabilité des supply chains et l'accent mis sur l'entreposage écologique des stocks, en particulier, ont été poussés sur le front et sont devenus l'un des domaines de recherche les plus dynamiques en matière de management des décisions, non seulement pour les chercheurs mais aussi pour les professionnels et les entreprises, Les activités commerciales peuvent représenter une menace majeure pour la nature en termes de matériaux d'emballage mis au rebut, d'émissions de monoxyde de carbone, d'embouteillages, de matériaux toxiques mis au rebut et d'autres formes de pollution industrielle (Wisner et al., 2014).

Les stocks perturbent la supply chain (SC) en influençant les prévisions, en prenant en compte les variations de la demande, en éliminant l'imprécision de l'offre et, parfois, en protégeant les prix (Muller, 2011). Étant donné que l'entreposage des stocks est fortement lié aux activités précédentes (transport, emballage, etc.) qui représentent 80 à 90 % de l'empreinte carbonique totale et des émissions de gaz à effet de serre (GES) (Waltho et al., 2019). Sa gestion et, par conséquent, les flux de matières sont d'une importance capitale pour obtenir des supply chains efficaces et durables (Marklund and Berling, 2017). Dans le cadre de ces pressions et stratégies de développement durable en matière d'émissions de carbone, les entreprises doivent revoir de manière optimale leurs stratégies de décision en matière d'inventaire et d'entreposage afin de réduire l'impact des émissions (Hasan et al., 2021). En d'autres termes, les organisations doivent dépasser la gestion économique traditionnelle (diminuer le coût de possession et augmenter la satisfaction du client) et se concentrer sur les considérations environnementales dans une perspective de gestion écologique des stocks (Marklund and Berling, 2017). (Kazemi et al., 2018) examinent, dans une perspective durable, les effets des coûts d'émissions sur le volume des commandes de réapprovisionnement et le bénéfice global du détaillant, tandis que (C. Wang et al., 2020) montrent que les entreprises ayant une forte position de RSE (responsabilité sociale des entreprises) ont tendance à faire preuve de résilience face aux défis actuels. Néanmoins, la gestion des stocks dans les entrepôts d'une manière durable reste une tâche triviale et une démarche compliquée. En outre, (Shekarian et al., 2017) réalisent une étude complète et systématique dans le domaine de la gestion floue des stocks et met en lumière le rôle extrêmement important des technologies émergentes dans l'efficacité des stocks. Par conséquent, l'essor des développements technologiques représente de nouvelles possibilités et fournit des services plus efficaces dans le processus de gestion des stocks. De nombreux chercheurs ont déclaré que les technologies exclusives et les systèmes d'information efficaces permettent d'améliorer la durabilité du processus d'entreposage (Dubey et al., 2018). Par

conséquent, " la protection intelligente de l'environnement " est devenue une nouvelle direction pour le développement de la gestion des stocks d'entrepôt car, avec l'énorme quantité d'informations et de chiffres qui circulent dans l'entrepôt, l'envie d'automatiser ce dernier est inévitable pour parvenir à un entreposage lean. À cet égard, l'IdO apparaît comme une technologie écologique prometteuse dans la gestion des entrepôts, car les principales contributions de l'IdO à la logistique concernent l'entreposage, le transport et l'inventaire et visent à accroître l'efficacité, la sûreté et la sécurité des opérations (Liu et al., 2018). Plusieurs études ont indiqué que l'application efficace de la technologie de l'IdO peut améliorer l'intégration entre les maillons du SC grâce au transfert rapide d'informations précises et accroître l'efficacité du processus d'entreposage (Ali et al., 2020; Ku, 2018). Les gestionnaires d'entrepôts peuvent, en s'appuyant sur l'IdO, déterminer l'état de santé d'une expédition de produits surgelés et le risque de défaillance du réfrigérateur, en suivant l'emplacement, l'état de la météo, les schémas de circulation et les conditions environnementales, tout en minimisant le processus d'exploitation de l'entrepôt et les erreurs humaines (Benhamaid et al., 2022). En conséquence, la technologie de l'IdO peut jouer un rôle important dans l'amélioration et la stabilisation des conditions environnementales (Nozari et al., 2022). Dans cette optique, ce chapitre s'inscrit dans une nouvelle recherche en examinant la faisabilité de l'application de la technologie de l'IdO pour un système de gestion écologique des stocks d'un entrepôt (GESE) basé sur la méthodologie du système d'inférence floue, ce qui n'a pas été fait dans les études précédentes. La question de recherche qui a motivé cette étude était "comment l'IdO peut piloter le système du GESE ?".

Comme mentionné précédemment, le système GESE implique des activités spécifiques dont la résilience et la durabilité peuvent être assurées à l'aide de l'IdO. En conséquence, l'IdO peut examiner la durabilité des fonctions critiques dans le processus des stocks de l'entrepôt.

La structure de ce chapitre est la suivante : La section 2 décrit le contexte théorique de la GESE et de l'IdO dans la GESE. Dans la section 3, certains concepts fondamentaux liés à la théorie des ensembles flous et au système d'inférence floue (SIF) de Mamdani sont introduits, suivis d'une nouvelle approche proposée pour l'évaluation globale des performances de la GESE basée sur le modèle SIF dans la section 4. Dans la section 5, une étude de cas est faite pour évaluer l'approche proposée. Les discussions sont démontrées dans la section 6. Enfin, dans la section 7, les conclusions et les limites, ainsi que les études futures possibles sont présentées.

3.2 Contexte théorique

La section suivante vise à mettre en évidence les recherches connexes sur le maintien des fonctions critiques du système de la GESE, l'importance de la technologie de l'IdO et la corrélation existante entre les deux concepts.

3.2.1 Gestion écologique des stocks d'entrepôt

La logistique est un concept utilisé dans l'industrie et le commerce pour décrire le large éventail d'activités nécessaires pour réaliser un mouvement efficace des produits finis depuis la sortie de la chaîne de fabrication jusqu'au consommateur, et dans certains cas, elle inclut le mouvement des matières premières depuis leur fournisseur jusqu'au début de la chaîne de production (Cui and Hertz, 2011). Néanmoins, la priorité accordée au pratique écologique dans le marché concurrentiel actuel a fait appel à des pratiques de gestion écologique de la logistique (PGEL), ce qui en fait un moteur important de la performance organisationnelle (Arslan and Şar,

2018). Parmi ces pratiques, la gestion écologique des stocks se présente comme l'une des meilleures stratégies pour assurer la durabilité de l'ensemble de la supply chain, puisque les activités critiques associées au système de stock de l'entrepôt (manutention, gestion des retours, gestion des déchets, emballage et transport) sont responsables de la plus grande partie de l'empreinte carbonique et des émissions de gaz à effet de serre (Alinaghian et al., 2021). En ce sens, par rapport au modèle de stock classique, la GESE accorde plus d'attention au développement durable et intègre le concept de protection de l'environnement dans l'ensemble de la SC (Waltho et al., 2019). Par conséquent, de nombreux chercheurs ont développé et utilisé diverses approches pour analyser plusieurs aspects liés aux systèmes de la GESE. Par exemple, (Tiwari et al., 2018) proposent un modèle d'inventaire intégré qui minimise à la fois l'émission de carbone et les coûts totaux de l'inventaire. En outre, un autre modèle a été développé qui fournit des solutions numériques et théoriques pour déterminer les stratégies optimales pour la gestion durable des stocks (Mishra et al., 2021). La programmation multi-objective a été utilisée pour évaluer les fournisseurs écologiques optimaux en tenant compte des problèmes économiques et environnementales (Azzi et al., 2014; Digiesi et al., 2014; Kannan et al., 2013). De plus, certaines politiques visant à réduire les émissions de gaz à effet de serre dans une structure de stock écologique ont été représentées mathématiquement de manière plus claire (Bhattacharyya and Sana, 2019). L'importance de contrôler l'impact des opérations d'entreposage sur l'environnement a été démontrée dans de nombreuses études (Mota et al., 2015; van der Vorst et al., 2009). (Bonney and Jaber, 2011 ; Bouchery et al., 2012) ont étudié un nouveau côté conceptuel de l'entreposage et ont développé une approche axée sur la durabilité. Un modèle durable de quantité de commande économisée (QCE) a été développé en mettant l'accent sur les questions environnementales et économiques, un modèle itératif non linéaire en nombres entiers est également développé comme outil d'aide à la décision pour suggérer une stratégie appropriée afin d'optimiser la performance environnementale des activités logistiques internes de l'entrepôt (Caridade et al., 2017). (Bouchery et al., 2012 ; Caridade et al., 2017) et d'autres ont fait des recherches sur les organisations afin de mettre en pratique un système durable de la GESE basé sur différents éléments et activités comme le montre le tableau 15.

Tableau 15: Les fonctions clés d'un système de gestion écologique des stocks d'un entrepôt.

Fonction	Description	Exemples de thèmes	Références
Sélection et Emballage	Un système consistant à prendre les commandes des clients et à les placer immédiatement dans une boîte d'expédition. Cette approche supprime le besoin d'emballage pour l'expédition, ce qui permet d'effectuer l'emballage plus rapidement. La collecte et sélection est couramment utilisé par les entreprises du E-commerce pour la livraison d'articles mineurs.	Plastiques recyclés après la consommation Carton et papier recyclés Emballage biodégradable Produits remis à neuf Une méthode de fabrication plus économe en énergie	(Georgakarakou et al., 2020 ; Kozik, 2020 ; Siracusa and Dalla Rosa, 2018)

Suivi des niveaux de stocks	Une technique par laquelle une entreprise contrôle régulièrement l'ensemble de ses stocks. Les entreprises peuvent utiliser le suivi des stocks pour obtenir des informations telles que les niveaux de stock exacts, l'emplacement de chaque produit ou unité de gestion des stocks (UGS), le statut de livraison actualisé, ainsi que d'autres informations liées aux stocks.	Réduire le temps nécessaire à la réparation des équipements. Se débarrasser du matériel obsolète. Réduire le nombre de références. Augmenter la précision des projections de ventes et d'achats. Centralisation des stocks Réapprovisionnement automatisé	(Becerra et al., 2021; Digiesi et al., 2013)
Transformation	Les fabricants d'équipements d'origine (FEO) doivent créer des produits et des services exempts de pratiques et d'activités polluantes. Ils doivent également assurer la durabilité de l'énergie et des ressources naturelles. Enfin, ils doivent être rentables, valorisants, non toxiques et sains afin de maximiser l'efficacité des entreprises et l'épanouissement social.	Conception interactive de produits Pratiques de travail des équipementiers et pratiques de commerce équitable. Santé et sécurité au travail chez les équipementiers. Matériaux toxiques utilisés par les équipementiers Processus des équipementiers qui sont à la fois efficaces sur le plan énergétique et non polluants. Traçabilité de la fabrication	(Sarkar et al., 2022; Zhang and He, 2019)

Livraison et Expédition	Le transport physique de marchandises d'un endroit à un autre, par exemple des marchandises d'un entrepôt à un consommateur. Une entreprise de transport ou de logistique supervise le processus d'expédition, qui suit la production et l'emballage des marchandises.	Conformité des fournisseurs en amont Rapprocher le produit du consommateur Discipline d'acheminement des envois en aval Réduire le nombre total de connaissements Réduire le nombre de conteneurs vides Interopérabilité dans le transport maritime Processus économes en énergie et sans émissions chez les équipementiers.	(Hessevik, 2022; Lee and Nam, 2017; Lister, 2015)
Logistique amont	Une tâche consistant à inspecter les produits apportés à l'entreprise, qu'il s'agisse de nouveaux stocks ou de fournitures. Il s'agit d'évaluer la qualité, l'état et la quantité des articles qui arrivent, et de les diriger vers une zone d'entreposage.	Étiquetage innovant Responsabilité et inspection Processus de réapprovisionnement précis Élimination des erreurs de comptage et du stockage d'articles défectueux.	(Florian et al., 2011; Smith and Srinivas, 2019)
Proposition de valeur	Les produits écologiques sont plus chers pour les entreprises qui les vendent. Les clients, quant à eux, sont rarement informés du plan de valeur. Par conséquent, avant que les entreprises ne répercutent l'augmentation des coûts sur les clients, les produits écologiquement durables devraient être vendus en démontrant la proposition de valeur.	Politiques de tarification intelligentes Nouvelles initiatives de marketing. Justification des coûts plus élevés d'un point de vue financier. Certifications et éco-labels Démonstration de la valeur des consommateurs en effectuant des évaluations des risques.	(Bartolini et al., 2019; Wahab et al., 2018)

Récupération du produit	Pour maintenir les économies circulaires, la récupération des produits est une notion qui est traitée dans les stocks des entrepôts en circuit fermé. Le recyclage, le retraitement, les rénovations et la récupération d'articles et de matériaux font tous partie des processus de récupération des produits.	Rappels et traçages de produits. Gestion de la récupération des produits. Récupération efficace des produits. Interopérabilité de la récupération des produits.	(Darom et al., 2018; J. Yang et al., 2020)

(Source: Élaboration des auteurs)

(Hassini et al., 2012) ont affirmé que malgré le grand intérêt accordé à l'entreposage écologique par les académiques et les praticiens, les organisations souffrent toujours d'opter pour cette approche en raison des pressions internes et externes émergeant de diverses parties prenantes. À cet égard, la technologie de la logistique écologique telle que l'IdO permet d'assurer la protection écologique et environnementale de la SC dès la source (Arif et al., 2019c; Mastos et al., 2020b), car le système de gestion des stocks de l'entrepôt repose fortement sur les données, comme le montre la figure 18.

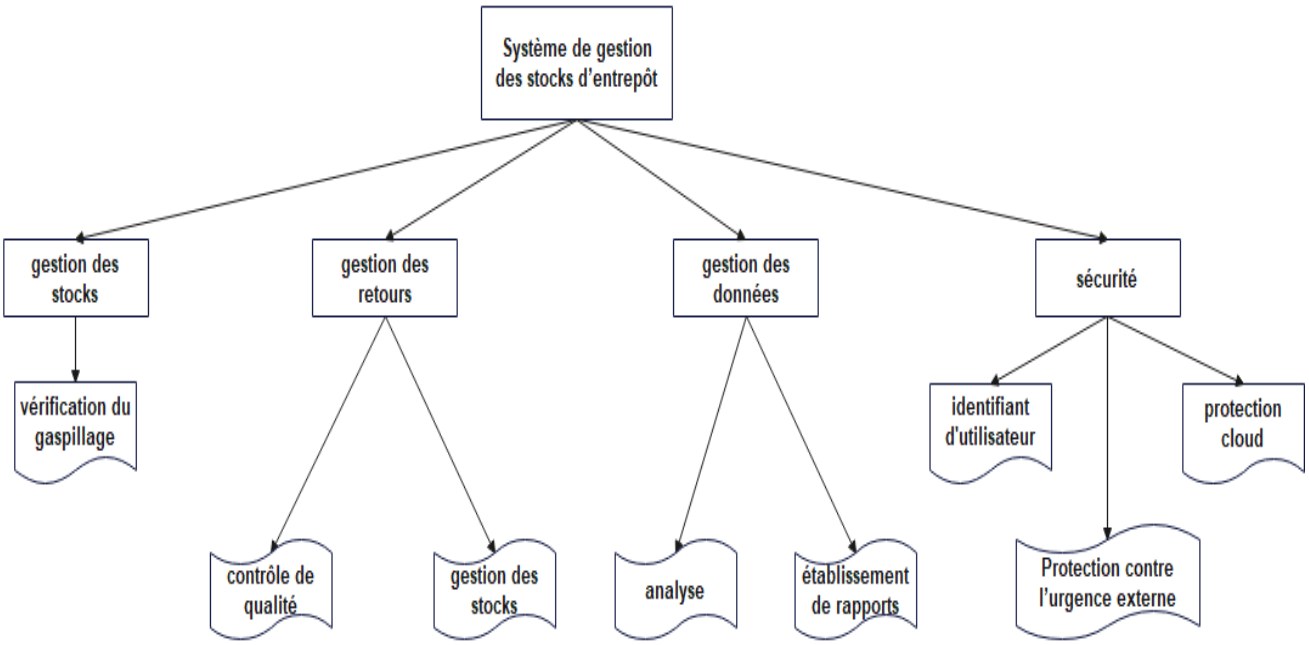


Figure 18: Diagramme des caractéristiques du système de gestion des stocks d'un entrepôt.

(Source: Élaboration des auteurs)

3.2.2 L'IdO dans le système de la GESE

Le concept de l'Internet des Objets (IdO) a vu le jour en 1999 grâce au fondateur d'une startup et entrepreneur britannique Kevin Ashton (M et al., 2015). Depuis lors, il a connu une croissance significative qui se manifeste par son adoption en constante augmentation dans les supply chains et la logistique. L'IdO représente un outil prometteur pour redéfinir le mode opératoire des supply chains modernes grâce au partage d'informations et à l'amélioration de la collecte, de l'analyse et de la surveillance des données entre les parties prenantes de la supply chain (Arif et al., 2020b; Liu et al., 2020), comme le montre la figure 19. Dans la partie technique, l'IdO symbolise un réseau d'information dans lequel de multiples dispositifs et capteurs sont connectés sur ou à des objets physiques allant des palettes de marchandises, et des biens de consommation aux outils de tous les jours, également les machines industrielles et les appareils ménagers ont la possibilité d'allumer et d'éteindre le web pour utiliser des logiciels et des processus d'automatisation pour une application intelligente (Abdel-Basset et al., 2018; Sabri et al., 2018). En bref, les dispositifs intelligents de l'IdO permettent aux entreprises de SC de minimiser les coûts qui résultent du processus d'acquisition des connaissances. L'une des tâches et fonctions les plus importantes de la logistique est la gestion des stocks de l'entrepôt qui, de par son importance, est confrontée à plusieurs problèmes tels que les retards de livraison, le surstockage et les ruptures de stock.

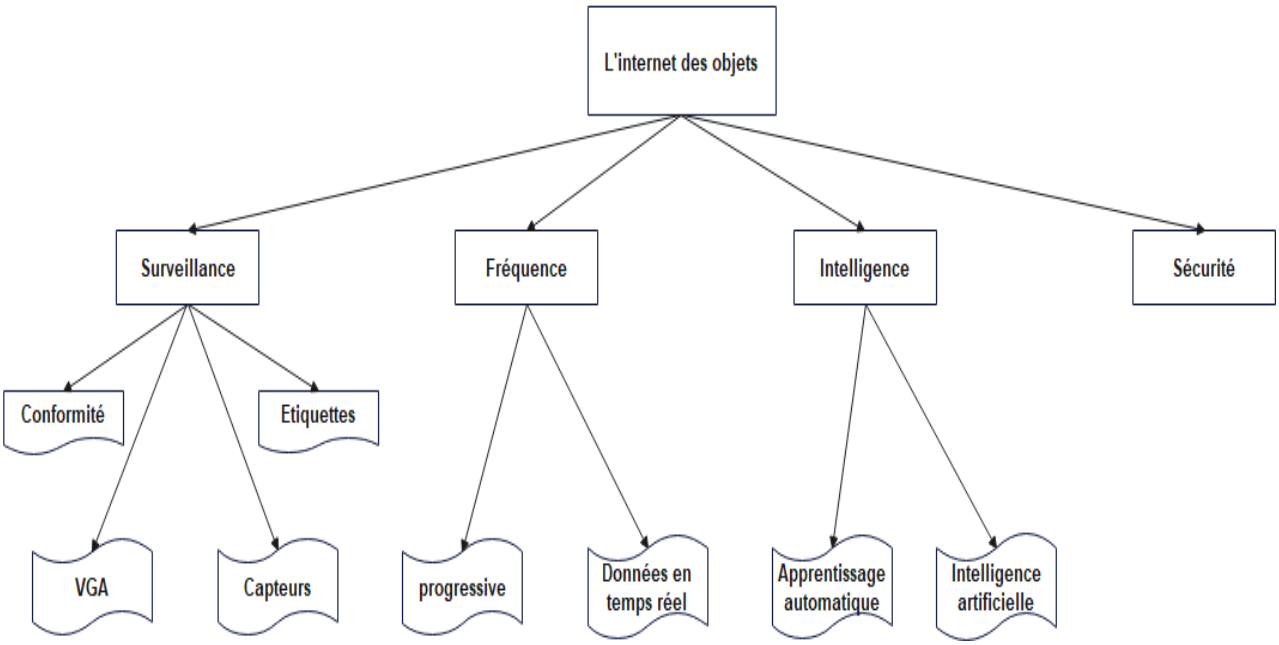


Figure 19: Diagramme des caractéristiques de l'Internet des objets.

(Source: Élaboration des auteurs)

Par conséquent, l'application de l'IdO à la gestion des stocks dans les entrepôts la rendra plus intelligente, plus automatisée et plus écologique, grâce à l'utilisation d'étiquettes intelligentes de l'IDRF (identification par radiofréquence) (Tan and Sidhu, 2022a). Par exemple, l'IdO permet de gagner du temps lors de commandes conjointes et de réaliser un entreposage collaboratif grâce à l'utilisation de systèmes multi-agents et d'objets intelligents, ce qui permet

d'améliorer la fiabilité des stocks (Katoch, 2021; Tan and Sidhu, 2022a), comme le montre le tableau 16.

En outre, compte tenu du grand nombre d'informations contenues dans le processus de gestion des stocks, les capacités d'apprentissage automatique utilisées dans l'IdO créeraient un océan de données et d'informations pratiques sur lesquelles la SC pourrait s'appuyer pour améliorer les processus et les performances environnementales. Les contributions des systèmes basés sur l'IdO dans la gestion durable des stocks d'entrepôt sont indéniables. De l'amélioration de la visibilité en temps réel de stock à la maximisation de la transparence des activités logistiques (transport, etc.), l'utilisation d'objets intelligents est reconnue comme un facteur clé pour améliorer le système de la GESE.

En outre, (Vrchota et al., 2020) a révélé que parmi les avantages des technologies de l'IdO figurent les processus écologiques tels que la réduction des émissions, les économies d'énergie, l'optimisation des ressources, la productivité, la réduction des coûts, l'amélioration des performances économiques et l'efficacité. Selon une enquête de (Shafique et al., 2018), il est constaté que l'application de l'IdO peut combiner l'intégration du fournisseur (IF) et l'intégration du client (IC) pour augmenter la performance de la SC écologique et peut motiver les employés à protéger l'environnement et à économiser l'énergie pour améliorer les opérations d'entreposage écologique. Cependant, les contributions de l'application de l'IdO pour les stocks d'entrepôt dans une perspective d'environnement durable restent dans leurs étapes initiales car la plupart des recherches et même des entreprises se concentrent principalement sur la durabilité économique en négligeant les aspects sociaux et environnementaux qui constituent les principaux piliers de la durabilité de toutes les fonctions de la SC.

Tableau 16: Les principaux avantages de l'IdO.

Contributions	Description	References
Collecte de données en temps réel et meilleure gestion des actifs	Le recours à l'IDRF intelligente permet de simplifier et d'enregistrer le processus de tous les types d'informations telles que les stocks et les dates d'expiration, et les périodes de garantie et cela permettra d'atteindre l'efficacité dans le système de stock de l'entrepôt. L'intégration de capteurs conduira à un taux de précision de 100%, au mouvement et à l'emplacement du stock et par conséquent la visibilité en temps réel du stock est réalisée via l'IdO ce qui permet de réaliser le modèle Juste à Temps.	(Arif et al., 2020c; Azzouz et al., 2021b; Murugan et al., 2021; Tan and Sidhu, 2022b)
Sécurité renforcée	Comme l'IdO rassemble d'énormes quantités d'informations, il est assez facile de s'introduire dans ces réseaux. Les pirates ne peuvent pas obtenir d'informations sensibles qui pourraient menacer l'efficacité du SC avec l'IdO, car ils n'obtiennent que des données brutes. Par conséquent, la sécurité est considérablement améliorée. le système peut	(Omitola and Wills, 2018 ; Safkhani et al., 2020)

	également être plus robuste et plus efficace si un système qui relie tous ces éléments est créé.	
Adaptation aux nouvelles normes	L'Internet des Objets (IdO) étant un point en constante évolution, ses avancées sont mineures par rapport à d'autres technologies révolutionnaires. le suivi de tous les événements les plus récents sera difficile à réaliser sans l'internet des objets.	(M et al., 2015 ; Narwane et al., 2022)
Réduction des coûts grâce à la diminution des déchets	L'IdO offre un moyen de diminuer les erreurs humaines et de supprimer les opérations sur papier, ce qui permet une fabrication plus rentable et plus respectueuse de l'environnement.	(Al-Talib et al., 2020 ; Anitha et al., 2021)
Une coordination plus efficace grâce à une meilleure interopérabilité	Le système de GESE est confronté à un problème de maintien de la coordination entre les différentes parties en permettant une plus grande interopérabilité. Les enregistrements certifiés par l'IdO ont le potentiel d'améliorer considérablement le contrôle des informations. Par conséquent, cette meilleure connaissance des principaux processus d'entreposage permettra de renforcer la collaboration et la co-création de valeur entre les parties prenantes, ainsi que d'améliorer l'interaction machine-machine et machine-homme.	(Mitake et al., 2021 ; Muñuzuri et al., 2020)
Amélioration de la prise de décision	Les organisations peuvent utiliser l'analyse opérationnelle en temps réel pour faire des choix commerciaux meilleurs, plus rapides et même plus écologiques, tout en réduisant les coûts opérationnels. L'internet des objets aide à hiérarchiser et à diffuser tous les choix de l'entreprise.	(Ekren et al., 2021 ; Mastos et al., 2020b)
Environnement intelligent	L'application de l'IdO contribue avec un avantage très important qui est de détecter la pollution et les calamités naturelles. Grâce à cette technologie, les entreprises peuvent surveiller les émissions des entrepôts et des véhicules afin de réduire la pollution atmosphérique. Nous pouvons également envoyer des avertissements de tremblements de terre et de tsunamis en détectant les tremblements et en améliorant ainsi la gestion des risques de la SC.	(Duangsuwan et al., 2018 ; Mastos et al., 2020b)

(Source: Élaboration des auteurs)

3.2.3 Ensembles flous : concepts de base

La mise en œuvre de la théorie des ensembles flous pour la toute première fois remonte au début des années 1960 par (Zadeh et al., 1996), qui la définit comme "une catégorie d'objets avec un continuum de classes d'appartenance dans laquelle la pensée humaine joue un rôle important, l'incertitude dans les classes d'objets étant prise en compte par l'utilisation de termes linguistiques et de fonctions d'appartenance". Depuis lors, le terme a connu un développement considérable de la part de nombreux chercheurs, car il a suscité un intérêt accru dans une variété de domaines scientifiques avec de nombreuses applications pratiques. Les ensembles flous sont utilisés lorsqu'il est difficile de déterminer exactement les paramètres d'un modèle. Dans ce cas, la logique floue fournit un cadre efficace, en utilisant des distributions de probabilité pour concevoir des paramètres flous lorsque les données sont incomplètes et imprécises (Yager and Zadeh, 2012). Lorsque les données et les connaissances des décideurs ne sont pas disponibles, le modèle est exprimé par un ensemble de règles linguistiques floues et de fonctions d'appartenance qui représentent localement la relation entrée-sortie dans le processus (Zimmermann, 2013). Les définitions de base liées au concept d'ensemble flou sont décrites dans (cf. Annexe 2, p.182).

3.3 Méthodologie de la recherche

Dans cette section, un nouveau modèle est suggéré sur la base d'un système d'inférence floue utilisant un contrôleur logique flou de type 1 (CLFT1) pour évaluer la performance de la GESE basée sur l'IdO. Le déploiement du SIF dans notre cas découle de sa capacité à modéliser des systèmes difficiles à définir précisément, comme c'est le cas pour de nombreuses problématiques de la SCM et à intégrer le manque de fiabilité et la subjectivité dans la formulation du modèle et le processus de solution. Le modèle SIF proposé est composé de deux phases. Six SIF en deux phases sont créées pour le modèle proposé. Tout d'abord, les entrées des SIF dans la première phase sont les différents critères de la GESE basés sur les connaissances des experts dans les domaines de la gestion de la supply chain écologique et de l'ingénierie environnementale qui ont été choisis pour sélectionner les critères qui ont le plus d'impact sur la performance de la GESE, qui sont utilisés pour évaluer l'applicabilité de l'IdO dans les activités de la GESE comme le montre la figure 20.

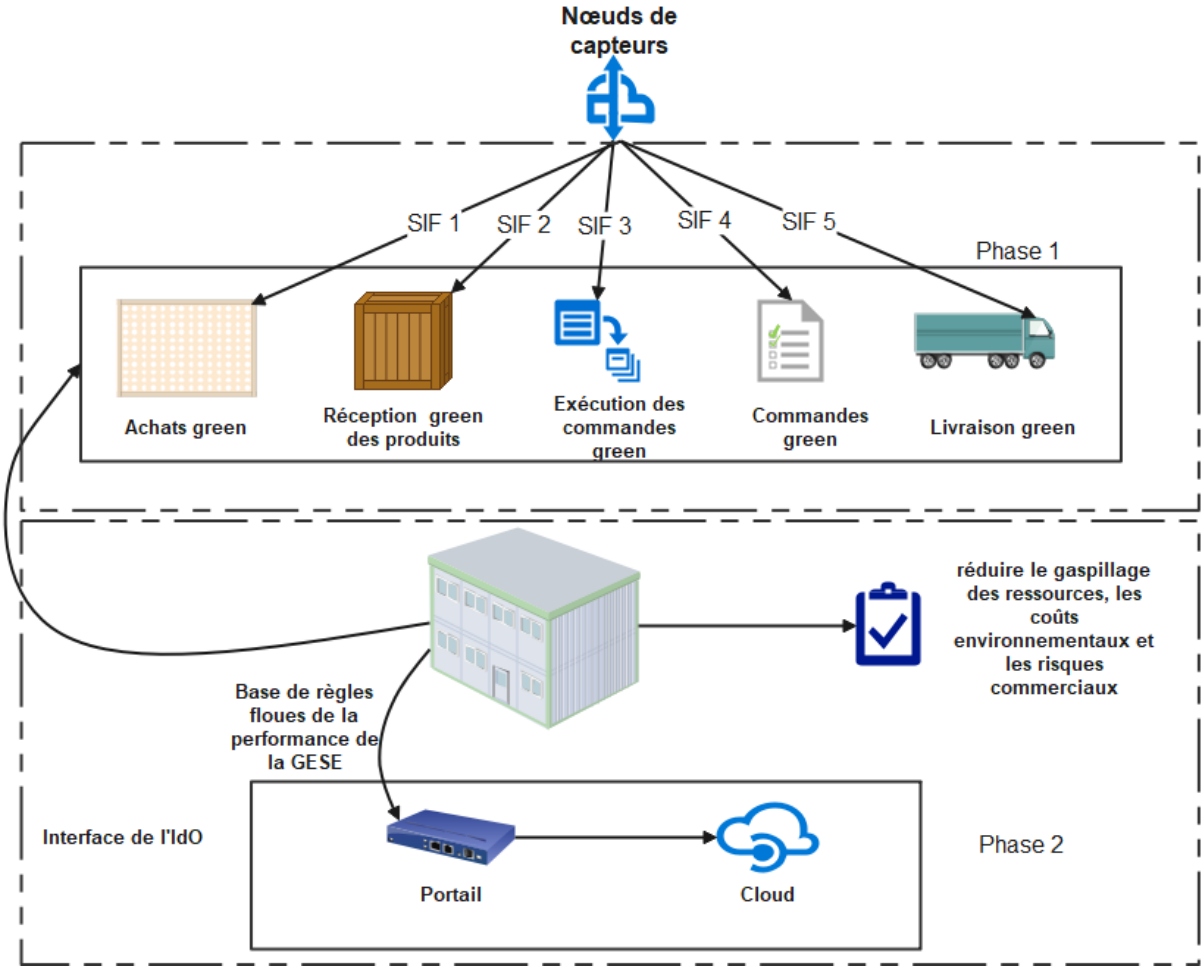


Figure 20: Schéma de fonctionnement du SIF proposé.

(Source: Élaboration des auteurs)

En outre, la figure 21 explique les critères choisis pour chaque SIF. En commençant par l'achat green (AG), quatre critères sont sélectionnés pour le SIF 1 : la collaboration fournisseur-client (CFC), l'intégration des parties prenantes (IPP), les règlements de qualité (RQ) et le réapprovisionnement (R). Le deuxième SIF couvre cinq entrées : Quantité requise (QR), Technologie green (TG), Politiques d'entrepôt green (PEG), Déchargement green des produits (DGP), Contrôle quantitatif et qualitatif (CQQ) et une sortie qui est la Réception green des produits (RGP). En ce qui concerne le SIF 3, le traitement des commandes clients (TCC), l'expédition green (EG), la livraison et les retours (LR) et l'inventaire de réception green (IRG) sont appliqués pour déterminer la valeur de l'exécution de la commande green (ECG). Les informations sur le produit (IP), les frais d'expédition green (FEG), les informations de facturation du client (IFC) et le délai de livraison (DL) sont sélectionnés pour le SIF 4 afin de calculer les commandes de vente green (CVG). Enfin, le SIF 5 implique cinq entrées qui sont : Règlement de paiement (RP), Rapports de projet et communication (RPC), Savoir de haut niveau (SHN), Qualité de la prestation de services (QPS) et Politiques de transport green (PTG), pour évaluer le niveau de livraison green (LG). Dans la deuxième phase, le SIF 6 est évaluée par les résultats de la première phase : AG, RGP, ECG, CVG et LG pour évaluer la performance de la GESE dans son ensemble.

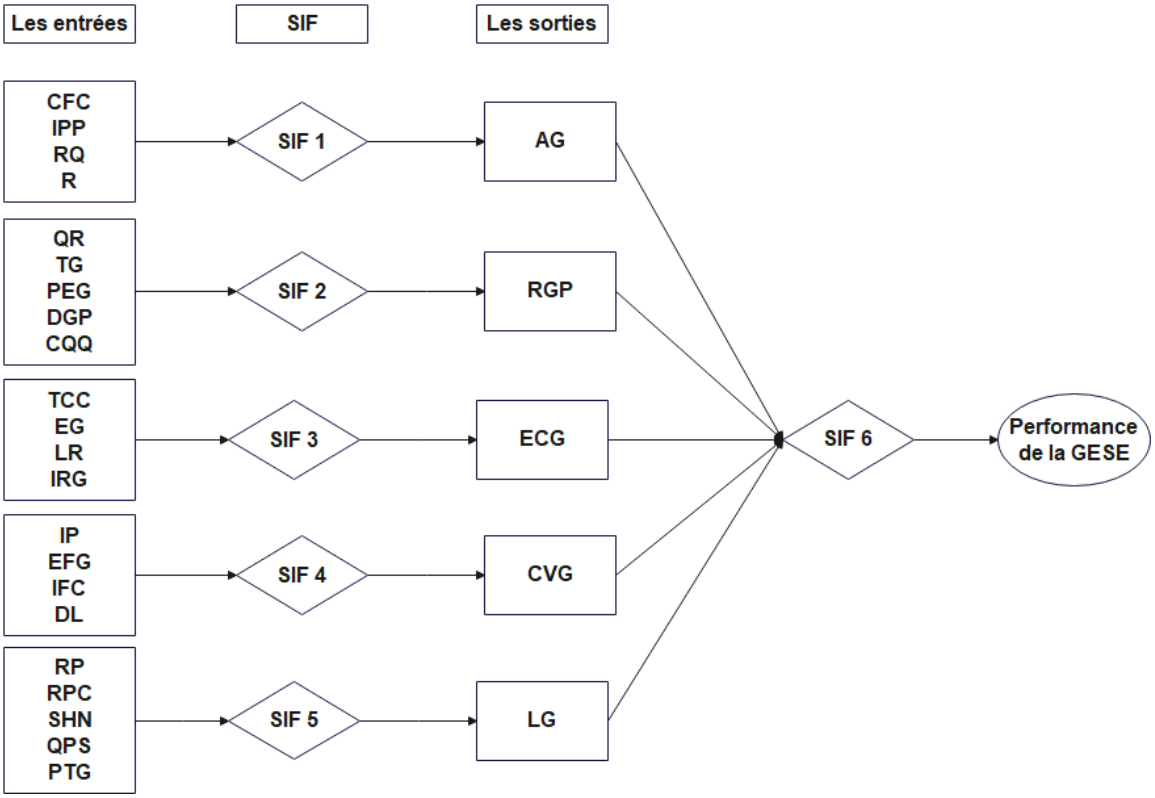


Figure 21: Schéma général du modèle proposé.

(Source: Élaboration des auteurs)

3.3.1 Détermination de la fonction d'appartenance

Comme mentionné précédemment, les fonctions d'appartenance peuvent prendre différentes formes telles que la forme concave, la forme linéaire, la forme exponentielle, la forme trapézoïdale et la forme triangulaire linéaire. Dans notre recherche, cinq ensembles flous de fonctions d'appartenance sont présentés pour les entrées des SIF de Mamdani (SIF 1, SIF 2, SIF 3, SIF 4 et SIF 5) de la première phase. Les entrées floues provenant des évaluations antérieures et de la documentation existante sont décrites comme "très faibles", "faibles", "modérées" et "élevées", sous la forme d'une variable linguistique sur l'intervalle numérique [0, 1] comme le montre le tableau 17.

Tableau 17: Entrées intuitives pour les termes linguistiques flous de la première phase.

Termes linguistiques	Échelle floue intuitive
très faible	(0, 0, 0.4, 0.4, 0.6)
faible	(0.4, 0.6, 0.6, 0.7, 0.8)
modéré	(0,6, 0.8, 0.8, 0.5, 0.4)
Elevé	(0,8, 0,6, 0,9, 1, 1)

(Source : Élaboration des auteurs)

Lorsque l'on réunit les figures 20 et 21, les sorties de la première phase sont similaires aux entrées de la deuxième phase, ces fonctions d'appartenance sont également appliquées aux entrées du SIF 6 dans la deuxième phase. Les ensembles flous de fonctions d'appartenance sont modélisés sous la forme de variables d'évaluation linguistiques et présentés comme "insatisfaisant", "satisfaisant", "bien", "très bien" et "excellent" qui sont identifiés pour les sorties des SIF de la première phase et les entrées du SIF 6 de la deuxième phase comme le montre le tableau 18.

Comme illustré sur la figure 22, ces ensembles flous sont déterminés comme "Légèrement favorisé", "Faible modérément favorisé", "Modérément favorisé", "Hautement modérément favorisé" et "Hautement favorisé" qui correspondent à des nombres flous comme indiqué dans le tableau 19.

Tableau 18: Sorties intuitives pour les termes linguistiques flous de la première phase.

Insatisfaisant	(0, 0, 1, 2, 4)
Satisfaisant	(2, 4, 4, 5, 6)
Bien	(4, 6, 6, 7, 8)
Très bin	(6, 8, 8, 9, 10)
Excellent	(8, 10, 10, 11, 11)

(Source: Élaboration des auteurs)

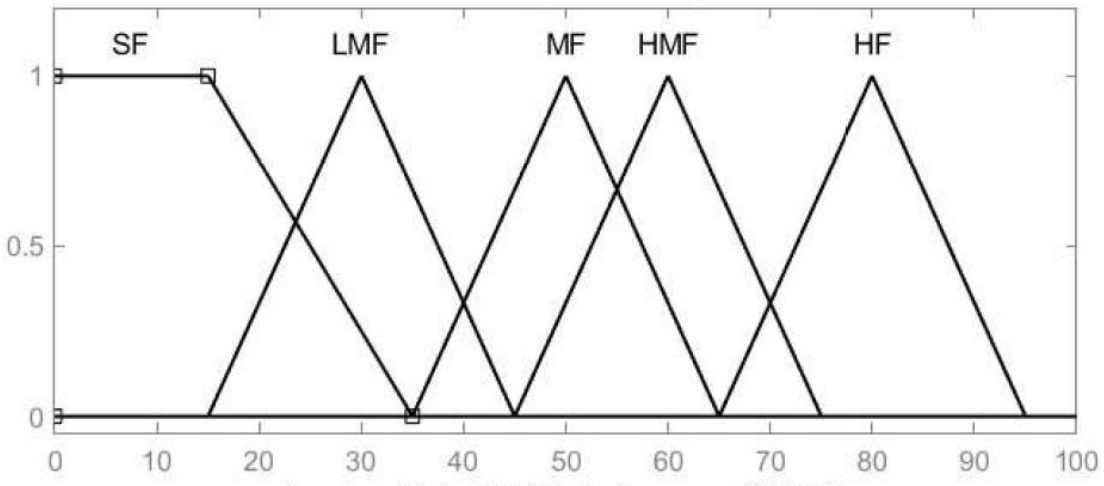


Figure 22: Fonction d'appartenance pour la performance de la GESE du CLFT1.

(Source: Élaboration des auteurs)

Tableau 19: Termes linguistiques pour la performance de la GGSE.

Légèrement favorisé	[0, 0, 15, 15, 35]
Faible modérément favorisé	[15, 30, 30, 30, 45]
Modérément favorisé	[35, 50, 50, 50, 65]
Hautement modérément favorisé	[45, 60, 60, 60, 75]
Hautement favorisé	[65, 80, 80, 80, 95]

(Source: Élaboration des auteurs)

3.3.2 Identification des règles floues

La définition des règles floues pour le SIF constitue l'étape la plus critique. Généralement, ces règles sont formulées en mode linguistique plutôt que numérique et sont utilisées sous la forme de règles "SI-ALORS" pour faciliter leur mise en œuvre dans la logique floue, car les connaissances et l'expertise humaine peuvent souvent être présentées sous la forme de règles floues "SI-ALORS" (Caiado et al., 2021). Ces dernières quantités sont définies par les ensembles flous et les valeurs d'entrée. Comme le montre le tableau 20, 856 règles sont définies pour le SIF 6 dans la deuxième phase. Par exemple, si l'achat green est "insatisfaisant", la réception green des produits est "excellente", l'exécution des commandes green est "satisfaisante", la commande de vente green est "excellente", et la livraison green est "bonne", alors, la performance de la GESE de l'entreprise est fortement favorisée en fonction du décideur. La structure et la nomenclature du modèle SIF sont établies comme indiqué dans le tableau 21.

Tableau 20: Règles d'inférence du SIF 6 du CLFT1.

Règles	**SI**					**ALORS**
	AG	**RGP**	**ECG**	**CVG**	**LG**	**Performance de la GESE**
1	Excellent	Satisfaisant	Excellent	Très bien	Bien	HF
2	Bien	Excellent	Bien	Très bien	Très bin	MF
3	Bien	Insatisfaisant	Excellent	Excellent	Excellent	HF
4	Satisfaisant	Satisfaisant	Très bien	Très bien	Satisfaisant	HF
5	Satisfaisant	Insatisfaisant	Bien	Bien	Très bin	HMF
6	Satisfaisant	Insatisfaisant	Insatisfaisant	Bien	Excellent	SF
7	Insatisfaisant	Excellent	Satisfaisant	Excellent	Bien	MF
8	Insatisfaisant	Excellent	Satisfaisant	Bien	Insatisfaisant	HMF
:	:	:	:	:	:	:
:	:	:	:	:	:	:
856	Insatisfaisant	Bien	Excellent	Bien	Excellent	HF

(Source: Élaboration des auteurs)

Tableau 21: Nombre de règles du CLFT1.

Phase	SIF	Entrées	Sorties	Règles
1	SIF 1	4	1	84
	SIF 2	5	1	465
	SIF 3	4	1	84
	SIF 4	4	1	84
	SIF 5	5	1	465
2	SIF 6	5	1	856

(Source: Élaboration des auteurs)

3.3.3 Défuzzification

Le moteur d'interface floue est utilisé pour intégrer les ensembles flous sélectionnés tout en considérant la règle floue et la région floue associée. Le SIF utilise "l'inférence Min-Max" pour calculer les résultats des règles en fonction des données d'entrée du système. Le "résultat floue" est le résultat de cette approche.

La juxtaposition des antécédents de la règle détermine la validité ou la "valeur de vérité" de la règle. Lorsque la combinaison est désignée comme "minimale", l'évaluation de la règle consiste à trouver l'antécédent de règle le plus bas (minimal), qui est supposé être la valeur de vérité de la règle. Cette valeur de vérité est ensuite utilisée pour tous les effets de la règle. Si une sortie floue est la conséquence de plusieurs règles, la valeur de vérité la plus grande (maximale) de toutes les règles qui la contiennent comme conséquence est utilisée. L'évaluation des règles produit un ensemble de conclusions floues qui incarnent les conséquences de toutes les règles dont la valeur de vérité est supérieure à zéro.

La méthode de défuzzification est ensuite appliquée pour convertir la sortie floue en une valeur nette. La technique du centre de la zone (CDZ), l'approche moyenne du maximum (MDM), la technique de la bissectrice de la zone (BDZ), la technique du plus grand maximum (PGM) et la technique du plus petit maximum (PPM) sont quelques-unes des techniques de défuzzification les plus importantes (Yager and Zadeh, 2012). Pour toutes les SIF décrites dans le cadre développé, l'approche CDZ est utilisée. Par exemple, l'organisation des visualiseurs de règles du modèle SIF 6 correspondant est illustrée à la figure 23. Elle décrit les lignes directrices du modèle SIF suggéré pour l'évaluation des performances de la GESE. Chaque règle est une ligne de graphiques, et chaque colonne est une dimension des stocks d'entrepôt écologique. La ligne rouge sera déplacée pour ajuster les valeurs d'entrée, et le modèle du SIF calculera la valeur de sortie. Cinq paramètres d'entrée et un paramètre de sortie ont des valeurs allant de 0 à 10 et de 0 à 100, respectivement.

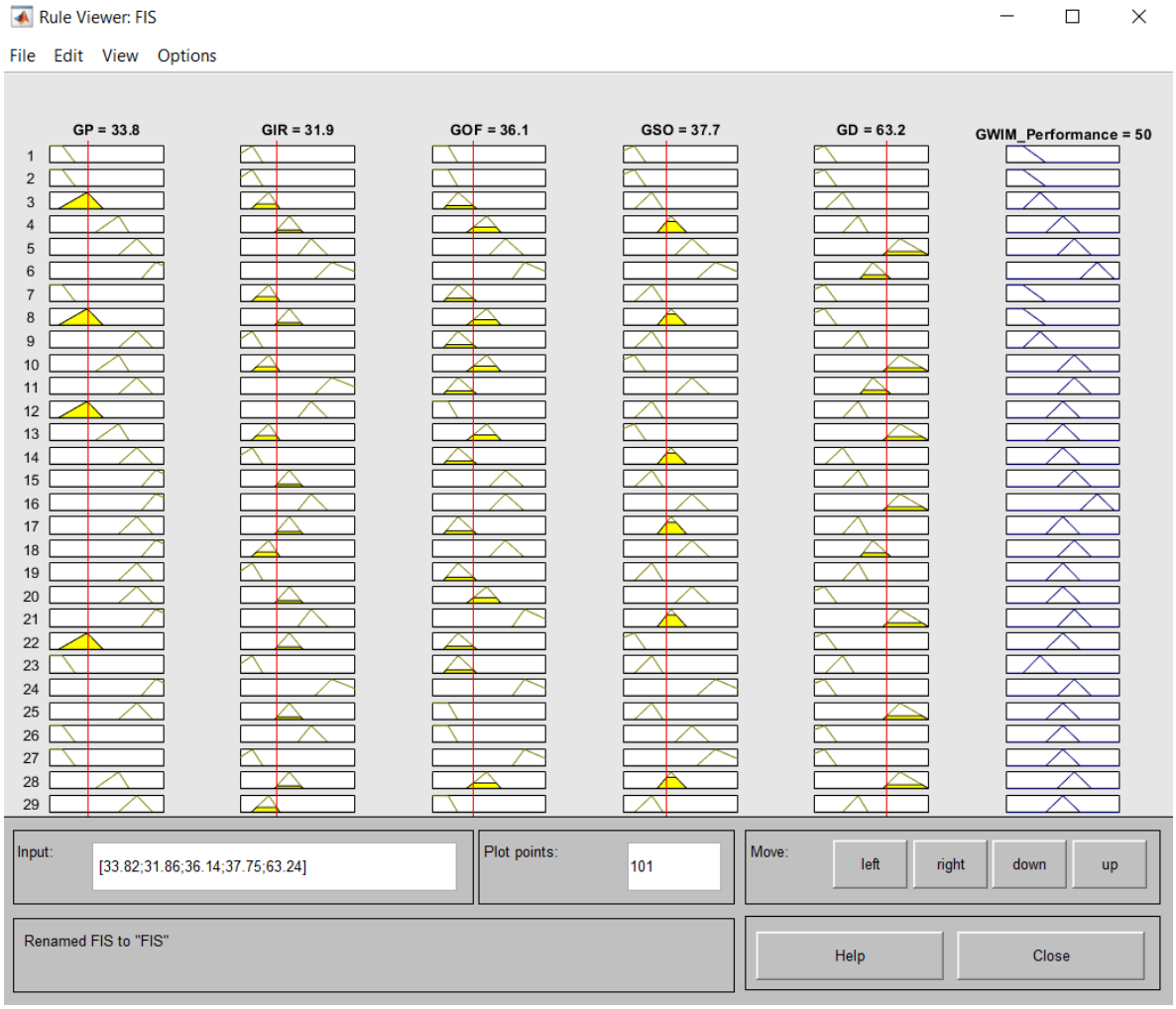


Figure 23: Visualiseur de règles du SIF proposé pour le CLFT1.

(Source: Élaboration des auteurs)

3.4 Étude de cas : Evaluation de l'application de l'IdO dans la GESE

Cette section examine une entreprise dans le secteur automobile (dont le nom d'emprunt est BBT). BBT est une éminente entreprise industrielle de semi-conducteurs automobiles, spécialisée dans l'intégration d'équipements et de services de fabrication contractuelle à haut volume. Les composants des matériaux de production s'accumulent massivement dans l'entrepôt en raison du mode de production à haut volume de BBT. En raison de la complexité accrue des matières premières et des produits semi-finis, BBT a été poussé à améliorer sa performance de la GESE pour répondre aux demandes croissantes des clients. Cette étude de cas valide l'approche proposée pour l'évaluation de la performance globale de la GESE. L'entreprise susmentionnée est évaluée sur la base de dimensions et de critères écologiques prédéterminés. Par conséquent, l'approche proposée par le SIF Mamdani est examinée de près dans cette entreprise. Il convient de mentionner que la boîte à outils de logique floue de

MATLAB est utilisée pour mettre en œuvre tous les algorithmes de calcul de la technique décrite.

Tout d'abord, on demande à cinq spécialistes académiques (chercheurs dans les domaines de la gestion, de l'ingénierie environnementale et de l'ingénierie industrielle) d'évaluer cette entreprise en utilisant les critères SIF 1, SIF 2, SIF 3, SIF 4 et SIF 5 de stock d'entrepôt écologique. Le tableau 22 résume les résultats. Comme nous pouvons le voir dans le tableau, les règlements de qualité ont la meilleure performance en matière d'achats green (SIF 1). Pour la réception green des produits, le déchargement green des produits arrive en tête (SIF 2). La livraison et les retours présentent la meilleure performance de l'exécution des commandes green (SIF 3). Les informations sur les produits sont définies avec le rang le plus élevé dans les commandes de vente green (SIF 4). Sur la base du rapport de projet et de la communication, la livraison green (SIF 5) est déterminée avec le rang le plus élevé.

Dans la première phase du modèle proposé, les quantités du tableau 22 sont utilisées comme entrées des SIF. Les achats green, la réception green des articles, l'exécution green des commandes, les commandes de vente green et la livraison green sont représentés par les résultats SIF 1, SIF 2, SIF 3, SIF 4 et SIF 5, respectivement (Tableau 23). Il convient de mentionner que dans la deuxième phase, ces chiffres sont utilisés comme entrées dans le SIF 6. Selon les données acquises à partir des SIF de la première phase, BBT a la meilleure performance de livraison green.

Finalement, dans la deuxième phase, le SIF 6 modélisé représente la performance totale de cette entreprise basée sur les cinq dimensions principales de la GESE. L'efficacité du modèle proposé est démontrée dans ce chapitre en utilisant différentes techniques de défuzzification. En réalité, plusieurs méthodes de défuzzification, comme PPM, PGM, MDM, BDZ et CDZ, sont utilisées pour établir la validité du modèle. Le tableau 24 montre la performance de la GESE calculée de BBT en utilisant diverses techniques de défuzzification. BBT a obtenu des scores de 98, 45, 50, 84 et 29 pour les techniques de défuzzification PGM, MDM, PPM, BDZ et CDZ, respectivement. Ces valeurs représentent les résultats les plus élevés pour chaque technique de défuzzification.

Tableau 22: Valeurs de performance du BBT en fonction des critères de la GESE.

Critères des SIF	**SIF 1**				**SIF 2**					**SIF 3**			
	CFC	IPP	RQ	R	QR	TG	PEG	DGP	CQQ	TCC	EG	LR	IRG
BBT	0.46	0.53	0.67	0.39	0.76	0.61	0.35	0.87	0.23	0.17	0.23	0.65	0.36

(Source: Élaboration des auteurs)

Suite du Tableau 22 : Valeurs de performance du BBT en fonction des critères de la GESE.

Critères des SIF	SIF 4				SIF 5				
	IP	EFG	IFC	DL	RP	RPC	SHN	QPS	PTG
BBT	0.76	0.47	0.37	0.25	0.26	0.67	0.37	0.27	0.59

(Source: Élaboration des auteurs)

Tableau 23: Résultats de la première phase.

	AG	RGP	ECG	CVG	LG
BBT	6.34	2.45	3.54	2.67	8.24

(Source: Élaboration des auteurs)

Tableau 24: Performance de la GESE du BBT.

Résultats	PGM	Rang	PPM	Rang	MDM	Rang	BDZ	Rang	CDZ	Rang
BBT	98	1	45	4	50	3	84	2	29	5

(Source: Élaboration des auteurs)

3.5 Discussion

Une étude de cas a été utilisée pour valider l'approche proposée, et l'entreprise alternative a été analysée en utilisant des critères et des métriques de la GESE basés sur l'IdO. Les résultats obtenus à partir de diverses méthodes de défuzzification démontrent que le plus grand des maximums (PGM) est la meilleure méthode de défuzzification pour l'évaluation de la performance de la GESE du BBT, car la technique PGM donne le maximum de véracité, et elle est plus facile à incorporer et à calculer dans ce modèle, en outre, le PGM est plus facile à représenter le statut réel , en raison du fait qu'il fait la moyenne des valeurs d'adhésion de l'ensemble du spectre du domaine, comme le montre le tableau 24. Ces résultats confirment la résilience du modèle proposé. La livraison green et la réception green des produits ont été respectivement considérés comme ayant la meilleure et la pire performance dans la GESE. En comparaison avec les autres résultats, la livraison green a la meilleure performance basée sur les critères des stocks d'entrepôts green.

La forte capacité du modèle proposé à évaluer les résultats est l'un de ses principaux avantages. La modification des paramètres d'entrée du modèle SIF permet de réaliser rapidement une analyse de sensibilité. En outre, la zone de sortie des SIF permet aux professionnels et aux académiques d'étudier l'impact des critères sur l'efficacité. Les graphiques 3D sont également utiles pour examiner la cohérence des règles de la SIF et pour faciliter l'analyse des systèmes à deux entrées et une sortie (Yager and Zadeh, 2012). Par exemple, la figure 24 illustre la surface de sortie du SIF 6. La réception green de produits et la livraison green sont deux variables

d'entrée qui vont de 0 à 100. Pour la performance de la GESE du BBT, la livraison green est plus importante que la réception green de produits.

L'objectif principal de cette recherche était d'évaluer la performance de la GESE du BBT. Cependant, les résultats de l'analyse de sensibilité des caractéristiques de la GESE nous fournissent un classement des critères qui est cohérent avec les recherches antérieures. "L'éco-livraison" a été identifiée comme l'un des principaux facteurs dans l'établissement d'un stock d'entrepôt écologique pour les fournisseurs automobiles allemands (Caniëls et al., 2013). Ce critère a été classé premier parmi dix critères pour l'industrie automobile (Caridade et al., 2017). Selon les experts et les managers dans cette étude, l'exécution écologique des commandes a un impact modeste sur la performance du stock d'entrepôt écologique du secteur automobile. Selon (Campos et al., 2020), le critère le plus essentiel pour une GESE est le critère de logistique inverse, qui est directement lié à la dimension de livraison green. La réception green des produits est également connue pour avoir le moins d'impact sur la performance écologique d'une entreprise. (Gao et al., 2018) ont découvert que le critère d'achat green n'avait pas d'impact significatif sur la performance de la GESE. Ces résultats confirment les conclusions de notre étude, selon lesquelles la livraison green et la réception green des produits ont respectivement le plus et le moins d'impact sur la performance de la GESE.

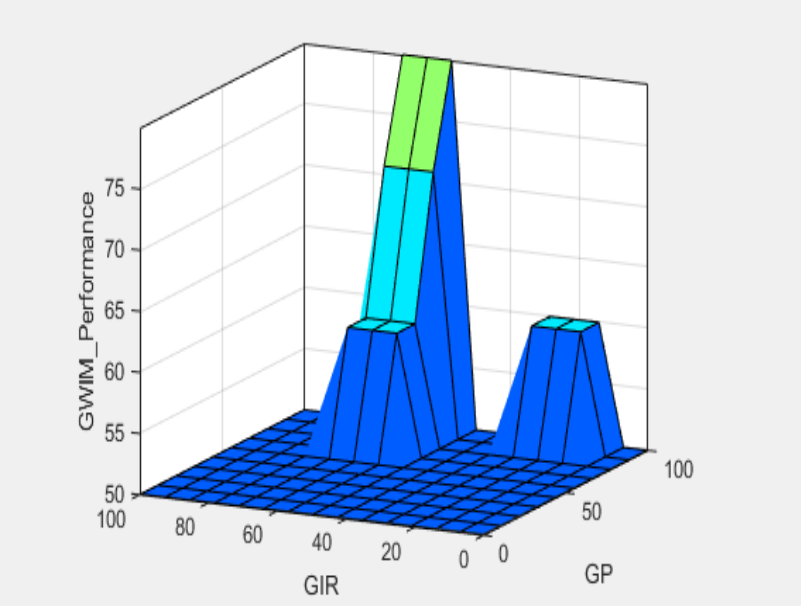


Figure 24: Zone de sortie du SIF pour l'étude de cas.

(Source: Élaboration des auteurs)

Le modèle proposé dans cette étude a plusieurs implications stratégiques pour les managers de SC ainsi que pour les dirigeants des entreprises. Ce modèle permet aux entreprises de comparer leur performance intelligente et écologique à celle de leurs concurrents et de recevoir des informations importantes sur les aspects qu'elles peuvent améliorer. Les managers peuvent sélectionner les dimensions et les critères écologiques de leur organisation qui nécessitent une plus grande attention, et ceux qui sont moins importants. Ce modèle aide également les managers à allouer correctement les fonds et les ressources. Le modèle proposé offre aux managers un paradigme général de prise de décision. Il implique qu'ils peuvent planifier et

évaluer l'impact des dimensions de la GESE basées sur l'IdO sur le programme de la GESE de l'entreprise afin de mieux gérer leurs décisions. Nos résultats empiriques montrent que les entreprises peuvent améliorer l'efficacité de la GESE en tirant parti de l'expertise collective des managers et des spécialistes. Si les entreprises veulent obtenir des résultats bénéfiques, elles devraient adopter une stratégie complète pour évaluer la performance de la GESE qui comprend une liste de critères plutôt que de se concentrer sur un seul critère. Le modèle proposé a été développé en utilisant cinq dimensions écologiques clés et 22 critères, mais il est adaptable à d'autres paramètres.

3.6 Conclusion

En raison de la complexité et de la diversité des commandes des clients, ainsi que de l'exigence d'informations en temps réel, les opérations d'inventaire d'entrepôt doivent évoluer en conséquence. Par conséquent, à l'ère de la transformation digitale (l'industrie 4.0), l'ancienne opération manuelle d'inventaire d'entrepôt n'est plus bénéfique pour les producteurs. Ainsi, un système développé de la GESE basé sur l'IdO est essentiel pour accroître l'efficacité et permettre l'exécution personnalisée des commandes.

Le modèle de la GESE proposé est combiné avec le SIF de Mamdani dans cette étude pour évaluer la performance écologique d'une entreprise. Ce modèle est composé de deux phases. Dans la première phase, les SIF ont reçu 22 éléments écologiques sur lesquels travailler. Dans la deuxième phase, le SIF 6 a reçu cinq aspects principaux de la GESE comme entrées : l'achat green, la réception green des produits, l'exécution green des commandes, les commandes de vente green et la livraison green. Il est intéressant de noter que ces cinq dimensions green sont également utilisées comme sorties des SIF de la première phase. Dans ce chapitre, le modèle proposé a été évalué par une étude de cas dans laquelle une entreprise industrielle de grande taille de semi-conducteurs automobiles, spécialisée dans l'intégration d'équipements et de services de fabrication contractuelle à haut volume, a été évaluée en fonction des dimensions et des critères susmentionnés. Diverses approches de défuzzification ont été utilisées pour démontrer la résilience du modèle SIF proposé. Les managers peuvent améliorer leur performance en matière de durabilité en utilisant les résultats générés par la méthode proposée. La réduction des déchets solides, la réduction des émissions, la diminution de l'utilisation de l'énergie et des ressources, la réduction des substances dangereuses et l'amélioration des soins de santé des employés et de la communauté font partie des avantages environnementaux. En outre, le moral du personnel peut être amélioré. La réduction de la consommation d'énergie, de l'achat de matériaux, du traitement des déchets, de l'efficacité des entrepôts et des stocks pouvant être tracés grâce à l'IDRF sont autant d'exemples de gains économiques.

Toutefois, le paradigme proposé présente quelques failles. La quantité de règles change à mesure que le nombre d'entrées ou de critères d'évaluation augmente dans ce paradigme, qui est basé sur des règles. Par exemple, supposons que 856 règles aient été établies pour cinq entrées du SIF 6 ; si une seule entrée est ajoutée, le nombre de règles passe à 5136. De plus, comme les résultats de cette étude se limitaient à l'évaluation d'une entreprise de l'industrie automobile, elles ne pouvaient pas être appliquées à d'autres types d'installations. Avec l'utilisation de modèles axés sur les données comme les réseaux neuronaux artificiels, des études supplémentaires devraient être menées pour fournir une approche permettant de développer des fonctions d'appartenance d'une manière efficace, cohérente et structurée. Il est également judicieux d'utiliser des normes pour spécifier les standards, ainsi que des

connaissances spécialisées. Les études futures devraient se concentrer sur la construction d'un algorithme génétique pour développer le meilleur ensemble de bases de règles floues.

Ce chapitre explore l'impact majeur de l'adoption du pilier écologique de la durabilité ainsi qu'un aspect majeur de la transformation digitale (l'internet des objets) sur la performance de la gestion d'entrepôt et donc le management de la supply chain. Mais, comme les entreprises sont confrontées de plus en plus au défi de conserver leurs propres ressources, en l'occurrence les stocks d'entrepôts, Le chapitre 4 adopte les principaux aspects de l'économie circulaire pour optimiser le processus de recyclage, la connaissance, l'excellence opérationnelle et la prise de décision intelligente. Et ce, grâce à la conception et la mise en œuvre d'un système de gestion circulaire d'entrepôt (SGCE) basé sur un aspect émergent de la transformation digitale - l'intelligence artificielle des objets (IAdO) - afin d'évaluer la performance de durabilité d'un SGCE pour la transformation digitale. La figure 25 montre une vue d'ensemble de la corrélation entre les chapitres 3 et 4.

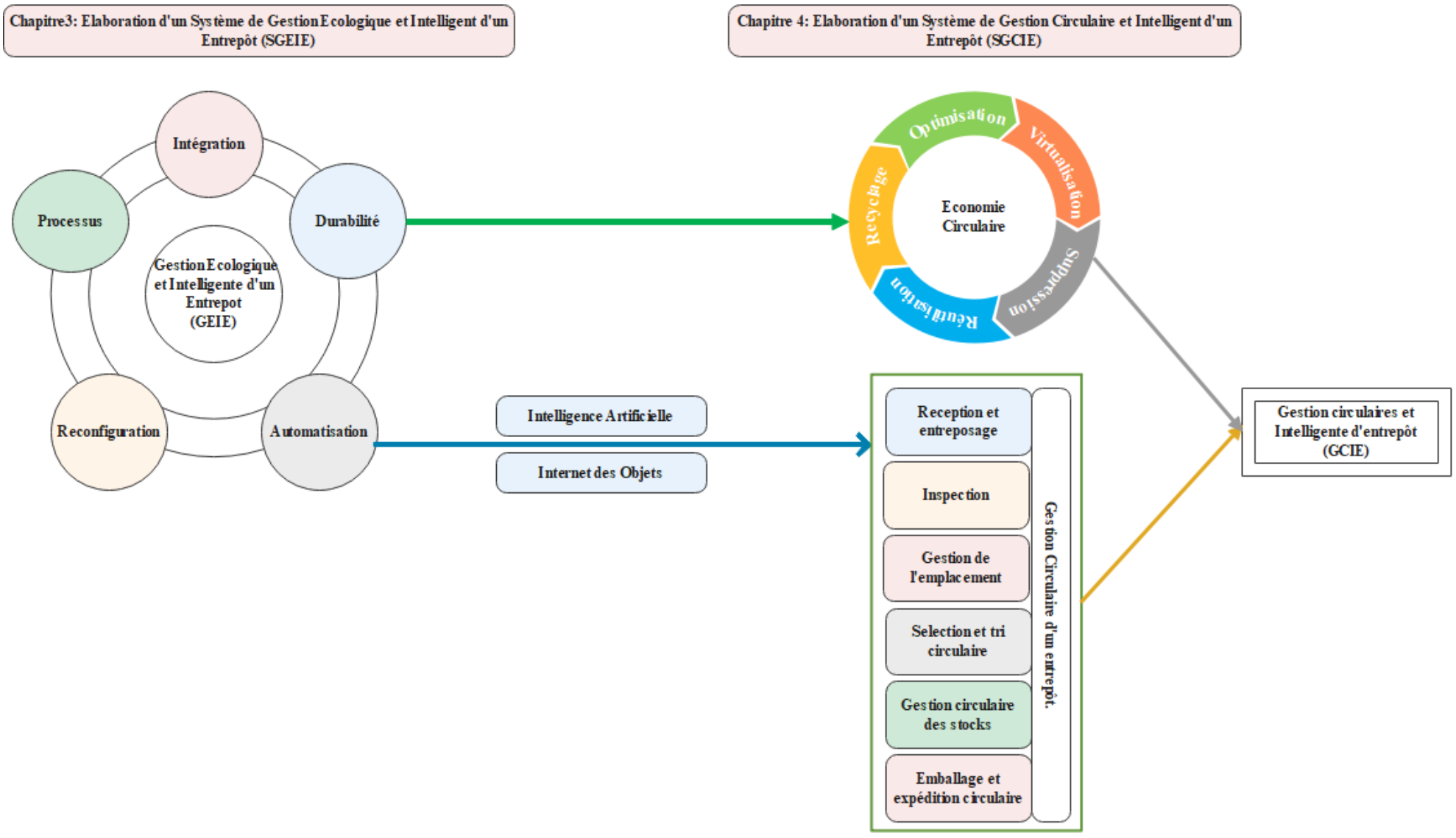


Figure 25: Vue d'ensemble de la corrélation entre les chapitres 3 et 4.

(Source: Élaboration des auteurs)

Chapitre 4. Développement d'un modèle de gestion circulaire d'entrepôts des pièces automobiles dans le cadre de l'intelligence artificielle des objets

4.1 Introduction....114
4.2 Contexte théorique....115
4.3 Cadre conceptuel de l'IAdO pour le système de gestion circulaire d'entrepôt 119
4.4 Etude de cas : Analyse du SGCE à l'aide de la technique orientée objet 121
4.4.1 Cartes de collaborateur de responsabilité de classe....126
4.4.2 Moteur de traitement pour le SGE 129
4.5 Discussions....132
4.6 Conclusions....134

4.1 Introduction

Le modèle de l''économie circulaire (EC) gagne en popularité chez les universitaires comme moyen de promouvoir la durabilité (Rossi et al., 2020; Schöggl et al., 2020). Aujourd'hui, l'EC est reconnue comme un concept général qui englobe l'intégration du bien-être environnemental dans la croissance économique par la mise en œuvre d'une structure économique régénérative ou réparatrice (Bauwens, 2021). Ceci est réalisé en brisant activement la boucle de la durée de vie du produit et en remplaçant l'idée de fin de vie par la régénération (Reslan et al., 2022). L'EC est utilisée pour atteindre la durabilité en réduisant les matériaux nocifs, le recyclage et la réduction des déchets, malgré certaines contraintes conceptuelles (Lahane and Kant, 2022). Cela est rendu possible par la mise en œuvre d'un ensemble de concepts, de normes et de pratiques tout au long de la conception et du cycle de vie du système (Coenen et al., 2020; Plociennik et al., 2022).

L'EC peut contribuer à de nombreux objectifs de développement durable pour deux raisons (Corona et al., 2019; Suárez-Eiroa et al., 2019). En premier lieu, selon l'EC, l'élimination ou la minimisation des déchets structurels réduit la demande de nouvelles ressources finies. Autrement dit, en mettant en œuvre des solutions circulaires, la capacité des ressources précédemment sous-utilisées peut être exploitée pour créer de la valeur ajoutée (Peronard and Ballantyne, 2019). En second lieu, l'EC prône le renoncement à l'utilisation du cadre naturel comme " évier " pour les ressources mises au rebut (Flynn and Hacking, 2019). L'EC est crédité du potentiel d'éviter, d'atténuer et d'éliminer la dévastation en réduisant, par exemple, les émissions, la pollution industrielle et la destruction de la biodiversité et de l'habitat liée à l'extraction des ressources (Goyal, 2020; Pires and Martinho, 2019).

L'EC, selon (Sfez et al., 2019), peut ne pas être l'objectif ultime, mais plutôt faire partie d'un plan plus large visant à améliorer l'efficacité et l'efficience des ressources. La transformation digitale (L'industrie 4.0), quant à elle, désigne les systèmes industriels qui sont pilotés par les technologies de l'information (Kumar et al., 2020, 2018). Un essor spectaculaire des technologies avancées, telles que l'Intelligence Artificielle (IA) et l'Internet des Objets (IdO), a déclenché ce secteur de la nouvelle ère (Acerbi et al., 2021; Bag et al., 2021; Cui et al., 2021, Azzouz et al., 2021). L'I4.0 favorise la richesse des données pour la prise de décision, la prévision précise des défaillances et l'adaptation aux changements en fournissant des données omniprésentes et interconnectées (García-Muiña et al., 2021). En outre, l'I4.0 permet de raccourcir les cycles de développement des produits, de les personnaliser davantage, d'améliorer les échanges entre cyber-machines et l'interface homme-machine, autant d'éléments qui contribuent à la création de produits de haute qualité à des prix plus bas (Abdul-Hamid et al., 2020; Gupta et al., 2021). Ces avantages offrent un éventail croissant de nouvelles possibilités pour le développement et la mise en œuvre de stratégies d'amélioration (Salvador et al., 2021).

La majorité des études sur les systèmes de gestion d'entrepôt, selon (Torabizadeh et al., 2020), se sont concentrées sur trois critères. La main-d'œuvre, les coûts et les revenus sont tous des facteurs à prendre en considération. Bien que ces modèles soient utiles pour l'industrie, les facteurs sociaux et environnementaux n'ont pas été pris en compte. Lors de l'élaboration des indicateurs clés de performance, (Accorsi et al., 2014; Hofstra et al., 2018; Kumar Sett et al., 2012; Shiau and Lee, 2010; Son et al., 2015) ont examiné les systèmes de gestion d'entrepôt sous différents angles. Les indicateurs recommandés, quant à eux, sont axés sur les aspects économiques et opérationnels de l'entreposage, alors que les composantes environnementales et sociales de l'entreposage sont négligées.

D'autres études, en plus des variables économiques, ont tenté d'intégrer d'autres aspects. (Wong et al., 2018) travaillaient sur la logistique à faible émission de carbone, et ils ont suggéré un système de gestion de la performance pour évaluer la logistique à faible émission de carbone concernant les effets sociaux, économiques et environnementaux. Cependant, au lieu de se concentrer sur le monde de l'entreposage en général, les métriques proposées sont utilisées pour évaluer la performance des entreprises de logistique. (Calzavara et al., 2017) ont développé des mesures d'efficacité économique et ergonomique pour évaluer l'efficacité et la productivité de la préparation des commandes dans un entrepôt.

Ce chapitre est structuré comme suit : Dans la section 2, nous passons en revue la littérature ; le cadre de l'intelligence artificiel des objets (IAdO) pour la gestion circulaire du système d'entrepôt est présenté dans la section 3 et une étude de cas est présentée dans la section 4 pour valider notre système proposé. La section 5 aborde la discussion ; et enfin, la section 6 fournit des conclusions et souligne les futures lignes de recherche.

4.2 Contexte théorique

Les entreprises du monde entier se sont engagées à réduire les effets négatifs du développement économique sur l'environnement, à créer une société économe en ressources et respectueuse de l'environnement, et à s'efforcer d'atteindre un développement à long terme (Machen et al., 2021). Par conséquent, notre recherche s'ajoute à l'ensemble croissant de travaux axés sur l'utilisation de l'idée de circularité pour atteindre le développement durable et une plus grande compétitivité organisationnelle. Même si les techniques d'EC ont reçu plus d'attention dans la littérature (Luthra et al., 2022; Stumpf et al., 2021; Tseng et al., 2020), il existe toujours un besoin important d'une GCSE dans le secteur industriel (Alamerew and Brissaud, 2020; Silva and Pålsson, 2022). La figure 26 décrit les composantes de la GCSE. La GCSE intègre le thème de l'EC dans la supply chain d'une organisation et offre un nouveau potentiel pour améliorer les objectifs de durabilité de la supply chain (Huang et al., 2022; Vegter et al., 2020).

Diverses composantes de la logique de l'EC ont été suggérées pour être utilisées dans le management de la supply chain, en particulier dans les domaines du management durable de la supply chain (MDSC), du management écologique de la supply chain (MESC) et du management de la supply chain en boucle fermée (MSCBF) dans la littérature existante (Alkhuzaim et al., 2021; Bag et al., 2022; Belhadi et al., 2022; Centobelli et al., 2021; Huang et al., 2022). Le déploiement de la réflexion de l'EC dans ces différents pôles reste cependant éparpillé (Rodríguez-Espíndola et al., 2022). En outre, le MDSC, le MESC et le MSCBF ont chacune leurs propres objectifs distincts et parfois contradictoires, ce qui entraîne des difficultés théoriques et pratiques dans leur utilisation (Mollenkopf et al., 2010). L'EC, en revanche, fournit aux chercheurs et aux praticiens un ensemble cohérent de cinq concepts fondamentaux (Geissdoerfer et al., 2017). Ces concepts peuvent être appliqués de manière systématique pour tirer parti des idées du MDSC, du MESC et du MSCBF, tout en surmontant les divergences dans ces domaines.

Les préoccupations de circularité doivent être encadrées à l'environnement cible de l'entreprise, et les normes de durabilité de l'entreprise pour la pratique de la gestion d'entrepôt et l'adoption de techniques optimisées de gestion d'entrepôt par une organisation doivent être établies à cette fin (Lopes de Sousa Jabbour et al., 2019; Pieroni et al., 2020). La notion du Triple Ligne inférieure (TLI) est évaluée et placée à l'intérieur de plusieurs cadres décisionnels, tels que la Prise de Décision Multi-Critères (PDMC) (Zaman et al., 2018) ou le Processus de Hiérarchie Analytique (PHA) (Kolahi et al., 2018). Si ce dernier vise à classer les critères de durabilité, il

y a souvent plusieurs variables impliquées et des interactions complexes les reliant aux résultats de la performance de la supply chain et à la durabilité dans la pratique. Néanmoins, la clé d'inclusion de composants tels qu'une signature durable, une valeur durable, un flux d'informations et un état durable du matériel peut être combinée avec des mesures de performance du système de gestion d'entrepôt (SGE) comme la gestion d'entrepôt basée sur le diagnostic durable (GEBDA) basée sur la durée de vie résiduelle durable (DVRD) par le biais de mesures de performance de l'approche organisée clé (Allaoui et al., 2019). Le résultat est une stratégie de la GEBDA qui entend gérer la performance de durabilité en utilisant des mesures du SGE (Ali and Kaur, 2021). Toute approche efficace du TLI doit intégrer les préoccupations relatives aux coûts, ce qui signifie qu'il faut tenir compte de la tarification du cycle de vie complet des stocks, qui pourrait inclure des aspects de coûts de durabilité, plutôt que de se limiter aux coûts opérationnels et d'entreposage (I. S. Khan et al., 2021; Kouaib et al., 2020). Néanmoins, ce type de prise de décision dépend de la mesure dans laquelle les hypothèses implicites sont fondées sur la fiabilité des preuves en question.

Le terme de technologies digitales (TDs) fait référence à plusieurs phénomènes technologiques liés, notamment l'IoT, l'analyse de données et le big data (Bressanelli et al., 2018; Milić et al., 2020). En outre, les TDs, également connus sous le nom d'industrie 4.0, ont donné naissance au terme d'entreposage intelligent (Mahroof, 2019), et ont révolutionné la gestion des opérations dans des domaines tels que la robotique et la fabrication industrielle, le management de la supply chain, la production lean et agile, et la gestion de la qualité globale (Ben Othman et al., 2017; Conforto and Amaral, 2016; Jackson et al., 2016; Nasiri et al., 2020). Les TDs, par exemple, pourraient permettre aux systèmes de production de tirer parti des données antérieures pour améliorer la qualité en reconnaissant les événements anormaux et en modifiant les normes de performance si nécessaire (Hoellthaler et al., 2019). De plus, l'amélioration de l'échange d'informations tout au long de la chaîne de valeur facilite le contrôle des stocks et leur modification en temps réel en fonction de l'évolution de la demande (Chen et al., 2019; Ferrari et al., 2021). Cela améliore l'efficacité opérationnelle tout en révélant de nouveaux produits, services et possibilités de business modèles (Veile et al., 2022).

Les technologies digitales n'en sont encore qu'à leurs débuts (Mathupriya et al., 2020), avec peu de soutien pour des applications à grande échelle (Pan et al., 2021; Zhang et al., 2022). L'une des raisons possibles est que le domaine est entravé par des terminologies floues qui manquent de descriptions explicites des aspects constitutifs essentiels (c-à-d l'IdO, le big data et l'IA) (Benzidia et al., 2021).

Les technologies de l'industrie 4.0 permettent d'améliorer encore plus la planification et le contrôle de la gestion d'entrepôt, en permettant une mise en œuvre beaucoup plus importante de stocks en temps réel guidés par des dispositifs sensibilisés relayant des ensembles de données à des machines expertes capables de prévoir la demande et l'utilisation des articles pour piloter le SGE et les stocks (Lototsky et al., 2019; Tatsumoto et al., 2018). Les méthodes et les processus en place dans une opération pour recueillir et enregistrer ces actions limitent la qualité des données de l'entrepôt (Basile et al., 2019; Daeng Bani et al., 2018). Dans leur étude sur les garanties élargies des dispositifs dans les scénarios de service de produits, les auteurs (Sandhu et al., 2018) soulignent l'importance d'établir des méthodes de collecte de données et des garanties de qualité efficaces. (Selma et al., 2012) affirment que le rôle des données dans la prise de décision du SGE est désormais essentiel pour maintenir la compétitivité organisationnelle et réaliser des systèmes de service de produits autonomes et durables. Selon (Nnaji and Awolusi, 2021), malgré l'utilisation de dispositifs de détection automatisés dérivés des efforts de digitalisation de l'industrie 4.0, une main-d'œuvre bien qualifiée de personnel de

planification et d'ordonnancement, ainsi qu'une approche de planification des opérations incorporée pour l'exécution et l'utilisation optimales des machines d'automatisation, sont toujours nécessaires pour garantir la qualité des données (Tatsumoto et al., 2018). (Innocenti and Golin, 2022 ; Rieth and Hagemann, 2022) poursuivent en disant que de nombreuses technologies d'automatisation ne sont pas conçues pour être utilisées par les êtres-humains et n'imitent pas leur expertise et leur expérience. (Petković et al., 2019) proposent que l'IA puisse fournir la capacité de s'adapter pour combler le fossé entre les êtres- humains et les équipements d'entrepôt afin de surmonter cette lacune dans les systèmes d'entreposage intelligents et l'intégration humaine. Selon (Amato et al., 2005; Lyu et al., 2020), les données d'entrepôt devraient être valorisées par elles-mêmes. Les êtres-humains sont dans le système en boucle ouverte, où l'IA est utilisée pour faciliter l'interaction et la collaboration homme-machine dans la réalisation des opérations de logistique et de distribution. Il s'agit d'une orientation également prévue dans l'aspect des installations industrielles humaines décrites dans le programme émergent de l'industrie 5.0 par (Demir et al., 2019). La connectivité a toujours contribué de manière significative au processus d'innovation technologique dans les SGE, que ce soit par le biais de l'entreposage 4.0 (Hamdy et al., 2022), de l'entreposage intelligent (van Geest et al., 2021) ou de l'entreposage de commerce électronique (Zhong et al., 2022). Cependant, il existe des obstacles au-delà de la connexion pour aligner les SGE digitalisés avec les objectifs de la supply chain circulaire (Rajput and Singh, 2019). Alors que la gestion de la chaîne de valeur des données, la sensibilisation au contexte, l'accessibilité, l'interactivité et la visualisation, ainsi que l'apprentissage humain et le déploiement continu, ont été présentés comme des objectifs primaires (Belaud et al., 2019). Une deuxième difficulté est la nécessité d'intégrer des opérations commerciales supplémentaires pour garantir que l'entrepôt mis à niveau numériquement est aligné et contribue au système de gestion circulaire d'entrepôt (SGCE). Les questions de recherche (QR) suivantes ont été élaborées pour apporter un éclairage sur les défis susmentionnés :

- *QR1 : Comment une solution de l'IAdO contribue-t-elle à l'économie circulaire dans un SGE du monde réel ?*
- *QR2 : Comment une solution de l'IAdO se comporte-t-elle par rapport aux dimensions de l'économie circulaire dans un SGE du monde réel ?*

Un système informatique qui décide ou exécute en fin de compte une tâche qu'un être humain peut accomplir est connu sous le nom de système de l'intelligence artificielle (IA) (Cantu-Ortiz, 2014). L'IA est actuellement un type d'analyse avancée qui utilise l'optimisation, l'apprentissage automatique et l'apprentissage en profondeur pour atteindre ses objectifs (Sandeep et al., 2022). En amplifiant les capacités des composants sophistiqués dans les matériaux et les systèmes. Cela permet des circonstances telles que la surveillance, la gestion et l'optimisation. Plutôt que de favoriser l'apprentissage, les objets connectés ouvrent la voie. La plupart des applications de l'IdO reposent sur l'envoi de données à un centre de données ou à un système Cloud, ainsi que sur l'analyse et la modélisation des données et l'application de ces perspectives (Smiari et al., 2020). Ils nous fournissent des résultats au final, et ils peuvent renvoyer une logique modifiée aux mêmes appareils. Les dispositifs interconnectés devraient saisir la valeur des données qui leur sont livrées et utilisées dans des réseaux non structurés et autonomes pour améliorer l'apprentissage et l'intelligence collective et tirer pleinement parti des capacités de l'IA des objets (Mo and Sun, 2020; Nižetić et al., 2020). La technologie de l'IAdO offre une occasion unique d'améliorer l'apprentissage tout en le personnalisant. Ces systèmes d'IA sont capables de collaborer avec d'autres réseaux d'IA. Avec l'expansion

accélérée des technologies intelligentes ainsi que de l'Internet, comme les capteurs et l'identification par radiofréquence (IDRF), l'IA et sa combinaison avec la technologie de l'IdO ont progressé au-delà de ses premières phases et sont désormais considérées comme un type d'évolution technologique informatique dans lequel l'Internet se convertit d'un environnement rigide à un environnement dynamique et incorporé (Arif et al., 2020c; Lutz and Coradi, 2022; Subeesh and Mehta, 2021).

Les nouvelles technologies sont considérées comme un facteur potentiel d'augmentation des performances de leur supply chain en raison de la difficulté de cette dernière et de la gestion efficace de ces entreprises. Les entreprises peuvent obtenir un avantage concurrentiel et améliorer les performances de leur supply chain en mettant en œuvre ces technologies. Par conséquent, dans cette section de la gestion de l'organisation, l'utilisation la plus efficace de dispositifs intégrés et exhaustifs, tels que la technologie de l'Internet des objets, est essentielle. L'inclusion de ces informations en temps opportun et de manière correcte simplifie les choses et rend le processus plus visible (Lutz and Coradi, 2022). L'IAdO est utilisé comme un moyen d'améliorer cette procédure. D'autres capacités digitales peuvent être exploitées pour amener le management de la supply chain jusqu'au consommateur, notamment en permettant la communication entre les objets, en fusionnant les dispositifs de surveillance, le stockage de l'IdO, le cyber-espace et le traitement des données (Arif et al., 2019b; Dubey et al., 2021; Hansen and Bøgh, 2021). cela implique le développement d'un modèle qui définit la relation entre les technologies de l'internet et les objets, le management de la supply chain et le cloud computing (Ivanov et al., 2022). Il existe une pléthore d'informations disponibles sur les processus de la supply chain, ce qui permet d'avoir une vision plus approfondie que jamais. Ajoutez à cela les algorithmes d'apprentissage automatique que l'on trouve dans de nombreuses plateformes de l'IdO, et vous obtenez un véritable océan de données utiles que les organisations peuvent utiliser pour optimiser les opérations et réaliser des performances plus respectueuses de l'environnement (Wisetsri et al., 2022). Pour y parvenir, un cadre a été présenté dans cette étude qui peut être utilisé pour construire un système de gestion durable d'entrepôt en analysant les éléments importants affectant la durabilité environnementale.



Figure 26: Composants d'un système de gestion circulaire d'entrepôt.

(Source: Élaboration des auteurs)

4.3 Cadre conceptuel de l'IAdO pour le système de gestion circulaire d'entrepôt

Le présent travail a passé en revue la littérature pertinente à la confluence des domaines suivants afin de construire une base adéquate pour composer un cadre pour le SGCE des pièces automobiles. La durabilité industrielle, l'entreposage, la production circulaire et les stocks circulaires sont autant de mots qui viennent à l'esprit lorsqu'on pense au SGCE. Cette étude a permis d'identifier une lacune dans le domaine de la recherche d'un cadre holistique permettant d'intégrer les sources de données statiques et en continu pour les pièces automobiles dans l'intérêt d'une supply chain circulaire. Les résultats de cette enquête ont permis de créer un ensemble de paramètres pour encapsuler la caractérisation d'un bien manufacturé dans l'intérêt des préoccupations de circularité tout au long de la vie du produit. Ceci a été rapporté dans des publications précédentes par les auteurs (Colorado et al., 2020; Lim et al., 2022; Turner et al., 2020). L'actif sous-jacent en question était les pièces automobiles, qui ont un niveau élevé de complexité et la capacité de bénéficier d'une réduction de l'impact environnemental sur toute la durée de vie via des approches de SC circulaire. Le cadre conceptuel présenté dans la Figure 27 a été créé à l'aide de l'ensemble des paramètres spécifiés précédemment afin de tenir compte des catégories de paramètres et des conduits de données primaires disponibles dans les biens automobiles modernes.

l'IdO renforcé par le cloud, comme le montre la figure 27, fournit des potentiels de visualisation et de boîte à outils d'analyse prédictive, permettant la lecture des niveaux de stock dans des formats graphiques et tabulaires, version schématique - reliant les sorties de données aux modèles de stock entrant dans l'entrepôt, aux emplacements des produits, aux caractéristiques du transport, à l'emballage et au suivi des installations d'entrepôt et des supply chains circulaires relatives aux pièces automobiles engagées dans des opérations d'inventaire.

Une fois opérationnel, le cadre permettra une représentation holistique des flux de données complexes provenant des composants individuels et des assemblages de pièces. Le robot à guidage automatique peut être en mesure de recueillir des données à partir de capteurs de l'IDRF de base (tels que ceux caractérisant les quais de réception des marchandises, notamment l'antenne de balayage, le transpondeur et l'émetteur-récepteur). Ce système décentralisé est un modèle de bus fiable qui permet l'échange de divers éléments de données entre les systèmes de planification des ressources d'entreprise (PRE) et SGE (Rajput and Singh, 2020). L'accès générique aux flux de données émergeant des capteurs connectés via le traitement du langage naturel peut être fourni par un système cloud de l'IAdO. Ce cadre présente un outil de simulateur intelligent-circulaire qui gérera les analyses nécessaires pour fournir des ensembles de données traitées, des ensembles de résultats et des événements de simulation à utiliser dans les systèmes de gestion d'entrepôt, de réingénierie et de réutilisation circulaires. Le simulateur intelligent - circulaire générera les résultats suivants :

- Le simulateur créera des schémas de divers types de composants automobiles, avec une mise en correspondance visuelle avec les flux de données des capteurs - offrant une représentation holistique de tous les flux de données imaginables d'un type de pièce automobile.

- Les scénarios qui en résulteront décriront la meilleure conception de la supply chain pour reconnaître la circularité dans les opérations du SGE et traiter les vieilles pièces automobiles.

- Les spécifications des tâches d'entreposage prendront la forme de diagrammes de processus définissant les types d'inventaire de pièces automobiles, basés sur les données les plus récentes sur la surveillance des stocks précédents et la fiabilité et l'usure des composants automobiles.

La conception du simulateur circulaire intelligent se présentera sous la forme d'un tableau de bord unique, avec des affichages graphiques typiques et des fonctions d'exploration de données complétées par des vues de modélisation graphique permettant des expériences de simulation utilisant le traitement du langage naturel (TLN) et la technologie de l'IDRF. Le simulateur tirera également parti des récentes évolutions des techniques de visualisation en réalité mixte, permettant aux utilisateurs d'observer les implications possibles des scénarios de simulation produits dans le simulateur (avant de soumettre les données traitées aux consommateurs d'EC) grâce à l'utilisation d'un casque (Turner et al., 2022).

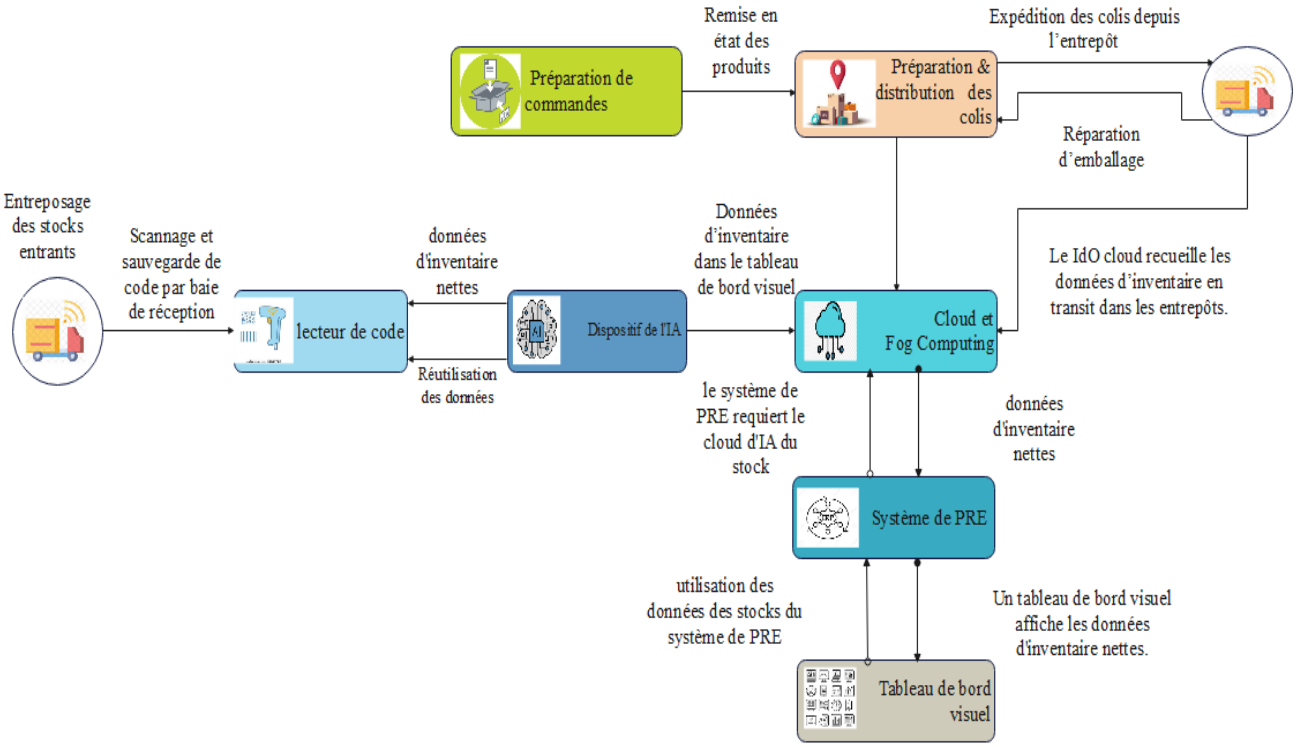


Figure 27: Cadre conceptuel pour la GCE de pièces automobiles habilité par l'IAdO.

(Source: Élaboration des auteurs)

4.4 Etude de cas : Analyse du SGCE à l'aide de la technique orientée objet

Une étude de cas basée sur une société de l'industrie automobile (dont le nom d'emprunt est TBC) est proposée dans cette section du chapitre pour illustrer les données à l'aide du langage de modélisation unifié (LMU). L'objectif de cette étude de cas est de résumer la manière dont les données des composants automobiles peuvent être extraites et utilisées dans le cadre du processus décisionnel automatisé du SGCE.

Le langage de modélisation unifié est une méthode orientée objet permettant d'analyser et de rendre claires et intelligibles les données fournies lors des entretiens pour que l'entreprise puisse survivre dans le climat hautement concurrentiel d'aujourd'hui. Le LMU est un langage de modélisation permettant de décrire, de visualiser, de construire et de modéliser des activités, ainsi que de documenter des artefacts de systèmes logiciels et d'autres systèmes non-logiciels. Les deux principaux types de diagrammes en LMU sont les diagrammes structurels et fonctionnels. Les diagrammes structurels, tels que les diagrammes de classes, sont utilisés pour illustrer les relations entre divers éléments. Les diagrammes de séquence, les diagrammes de cas d'utilisation, les diagrammes d'activité, les diagrammes de collaboration et les diagrammes d'état sont des exemples de diagrammes fonctionnels utilisés pour décrire les interactions entre les acteurs du système et le système lui-même. Ils ont été créés par (Grady Booch James Rumbaugh, 2002).

Le cas d'utilisation du SGE de la société TBC est présenté dans la figure 28. Il met en évidence les performances actuelles du SGE, notamment la manière dont il gère la réception et les retours, la logistique de l'entrepôt, les intégrations de logiciels tiers et la logistique de l'entrepôt, tout en offrant des fonctions de rapport et des prévisions puissantes.

Pour gérer l'approvisionnement, le SGE conserve les détails des fournisseurs dans une seule zone et les synchronise avec les niveaux de contrôle des stocks actuels grâce à des fonctionnalités avancées. En scannant le code-barres, le produit est ajouté automatiquement à une liste. Un SGE scanne et optimise les réceptions et dirige le personnel de l'entrepôt vers le bon endroit. En outre, le SGE recommande diverses approches en matière de stockage, d'emplacement et d'utilisation de l'espace de stockage. Les gestionnaires sont informés du nombre de marchandises disponibles grâce au SGE. Il informe également l'administrateur lorsque le réapprovisionnement est nécessaire. Ainsi, l'administrateur peut commander davantage de stocks et éviter d'en manquer à la dernière minute. Le tableau 25 énumère plusieurs caractéristiques contextuelles supplémentaires qui, si elles étaient fournies par les parties prenantes des composants, permettraient une analyse plus approfondie des traitements d'entreposage circulaire, des performances du SGE et de la longévité des pièces pour ces composants.

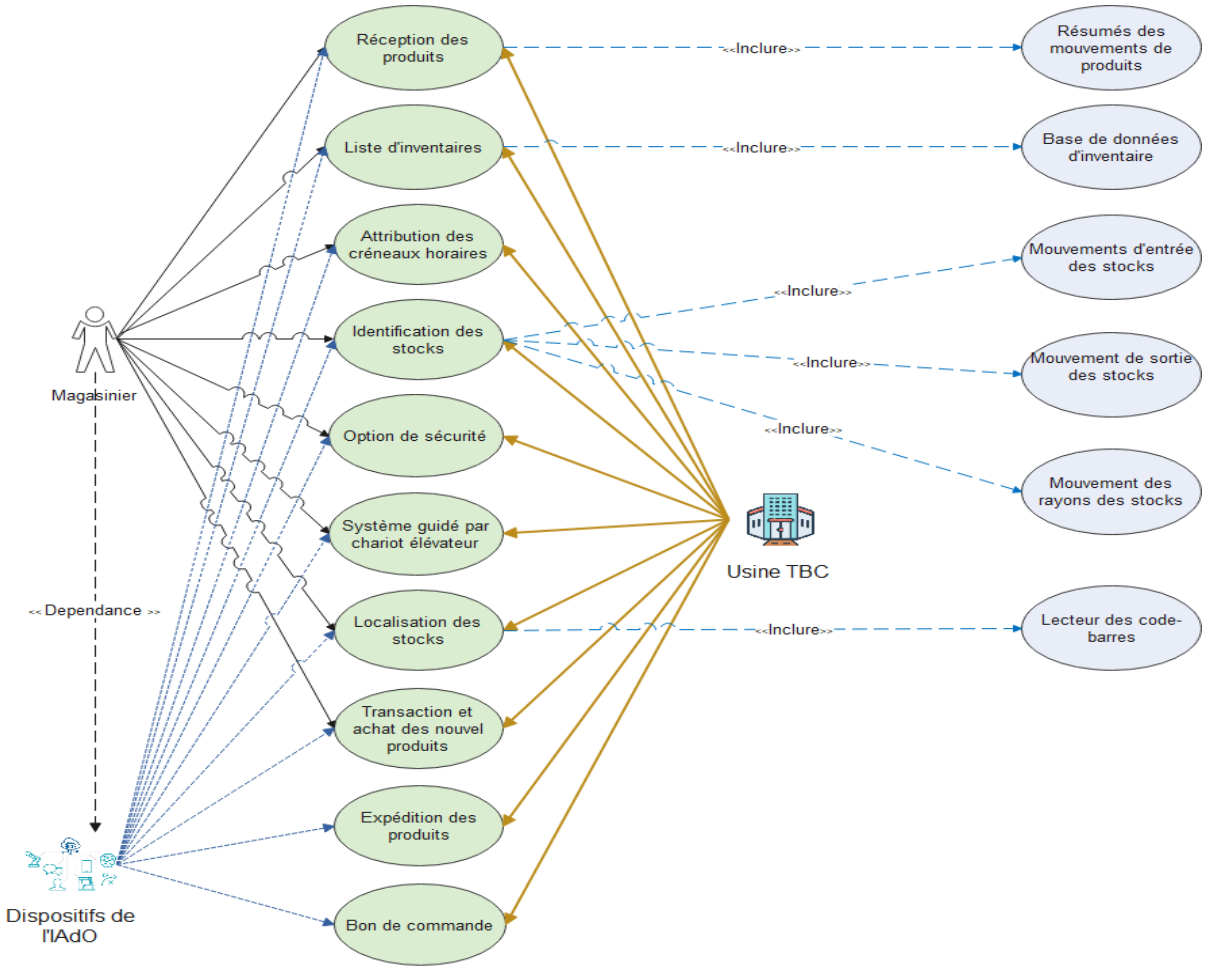


Figure 28: Diagramme des cas d'utilisation du système de gestion d'entrepôt de l'entreprise TBC.

(Source: Élaboration des auteurs)

Tableau 25: Description du diagramme des cas d'utilisation.

ID du cas d'utilisation	1	1.1	2	2.1
Nom du cas d'utilisation	Réception du produit	Résumés des mouvements de produits	Liste des stocks	Base de données des stocks
Acteur principal	L'Entreprise TBC	Magasiniers	Entreprise TBC	Magasiniers
Acteur secondaire	Magasiniers et dispositifs de l'IAdO		Magasiniers et dispositifs de l'IAdO	
Description	Les produits achetés sont reçus	L'entreprise évalue le produit acheté en fonction de certains critères spécifiques avant de procéder à l'entreposage.	L'entreprise prépare une liste de tous les produits en stock.	L'entreprise crée une base de données des stocks pour avoir une vision complète de l'état des stocks.
Déclencheur	L'entreprise choisit la méthode de réception qu'elle préfère pour la livraison des produits achetés à l'aide de dispositifs de l'IAdO	Les magasiniers choisissent la méthode appropriée pour déplacer le produit reçu.	Les produits sont reçus et inspectés	L'entreprise choisit la base de données appropriée pour son stock.
Pré-conditionnement	Les produits achetés sont expédiés et arrivent à l'entreprise TBC.	Les magasiniers choisissent la méthode appropriée pour déplacer le produit reçu et l'autre partenaire accepte de le déplacer.	Les produits reçus sont de la même qualité et quantité que celles spécifiées dans le bon de commande.	Les produits reçus sont inclus dans une base de données
Post-conditionnement		Les marchandises sont placées dans l'emplacement/le lieu approprié.		
Scénario de réussite	Les produits achetés sont reçus	Les produits reçus sont déplacés.	Les produits reçus sont organisés dans l'entrepôt de l'entreprise.	La base de données des stocks est créée
Scénario d'échec	Les produits achetés ne sont pas reçus	Les produits reçus ne sont pas déplacés.	Les produits reçus ne sont pas organisés dans l'entrepôt de l'entreprise.	La base de données des stocks n'est pas créée

(Source: Élaboration des auteurs)

Suite du Tableau 25 : Description du diagramme des cas d'utilisation.

ID du cas d'utilisation	3	4	4.1	4.2
Nom du cas d'utilisation	Allocation de créneaux horaires	Identification des stocks	Mouvement des stocks	Mouvement de déstockage
Acteur principal	Entreprise TBC	Entreprise TBC	Magasiniers	Magasiniers
Acteur secondaire	Magasiniers et dispositifs de l'IAdO	Magasiniers et dispositifs de l'IAdO		
Description	L'entreprise permet aux magasiniers de choisir les horaires de déplacement des produits en fonction de leur disponibilité et de leur commodité.	L'entreprise identifie les produits reçus	L'entreprise choisit la méthode pour déplacer les produits reçus.	L'entreprise choisit la méthode pour déplacer les produits expédiés.
Déclencheur	L'entreprise choisit la tranche horaire d'attribution des produits reçus.	L'entreprise choisit la manière appropriée d'identifier les produits reçus.	L'entreprise choisit le meilleur moyen de transporter les produits achetés.	L'entreprise choisit le meilleur moyen de transporter les produits expédiés.
Pré-conditionnement	L'entreprise choisit le moment opportun pour déplacer les produits dans l'entrepôt.	L'entreprise analyse les produits achetés pour choisir la meilleure identification.	L'entreprise analyse la méthode de mouvement des stocks retenue pour éliminer le mouvement inutile.	L'entreprise analyse la méthode de mouvement de déstockage choisie pour éliminer le mouvement inutile.
Pré-conditionnement		Les parties prenantes de l'entreprise s'accordent sur la meilleure identification de l'entrepôt.		
Scénario de réussite	Les magasiniers choisissent le meilleur moment pour déplacer les produits.	La meilleure identification des stocks est déterminée	Le mouvement des stocks est optimisé	Le mouvement de déstockage est optimisé
Scénario d'échec	Les magasiniers ne choisissent pas le meilleur moment pour déplacer les produits.	La meilleure identification des stocks n'est pas déterminée	Le mouvement des stocks n'est pas optimisé	Le mouvement de déstockage n'est pas optimisé

(Source: Élaboration des auteurs)

Suite du Tableau 25 : Description du diagramme des cas d'utilisation.

ID du cas d'utilisation	**4.3**	**5**	**6**	**7**
Nom du cas d'utilisation	Mouvement des rayons du stock	Option de sécurité	Système de guidage des chariots élévateurs à fourche	Emplacement des stocks
Acteur principal	Magasiniers	Entreprise TBC	Entreprise TBC	Entreprise TBC
Acteur secondaire		Magasiniers et dispositifs de l'IAdO	Magasiniers et dispositifs de l'IAdO	Magasiniers et dispositifs de l'IAdO
Description	L'entreprise choisit la méthode pour déplacer les produits dans les rayons de l'entrepôt.	L'entreprise choisit de protéger les ressources personnelles et physiques contre les dommages dans l'entrepôt.	L'optimisation du transport est assurée	L'entreprise choisit l'emplacement des stocks
Déclencheur	L'entreprise choisit la meilleure méthode pour déplacer les produits dans les rayons de l'entrepôt.	L'entreprise choisit de sécuriser l'entrepôt en utilisant les dispositifs de l'IAdO.	L'entreprise choisit la méthode de transport dans le processus de stockage et les déménagements.	L'entreprise choisit le lieu approprié pour stocker les produits reçus.
Pré-conditionnement	L'entreprise analyse la méthode de déplacement des stocks retenue pour éliminer les mouvements inutiles.	L'entreprise protège l'entrepôt de base en utilisant une panoplie d'actions et de techniques.	Les magasiniers choisissent la meilleure technique pour transporter les produits.	L'entreprise analyse l'infrastructure afin de choisir le meilleur endroit pour stocker les produits achetés.
Post-conditionnement		L'entreprise trouve le meilleur moyen de sécuriser l'entrepôt.	Les magasiniers et Les parties prenantes de l'entreprise parviennent à un accord sur les techniques de transport.	Les parties prenantes de l'entreprise s'accordent sur la meilleure localisation de l'entrepôt.
Scénario de réussite	Le mouvement de l'étagère de stock est optimisé	L'entrepôt est sécurisé	Les produits sont transportés	Le meilleur emplacement du stock est déterminé
Scénario d'échec	Le mouvement de l'étagère de stock n'est pas optimisé	L'entrepôt n'est pas sécurisé	Les produits ne sont pas transportés	Le meilleur emplacement du stock n'est pas déterminé

(Source: Élaboration des auteurs)

ID du cas d'utilisation	**7.1**	**8**	**9**	**10**
Nom du cas d'utilisation	Lecteur de codes-barres	Transaction et achat d'un nouvel enregistrement	Expédition du produit	Bon de commande
Acteur principal	Magasiniers	Entreprise TBC	Entreprise TBC	Entreprise TBC
Acteur secondaire		Magasiniers et dispositifs de l'IAdO	Magasiniers et dispositifs de l'IAdO	Magasiniers et dispositifs de l'IAdO
Description	L'entreprise utilise le lecteur de code-barres pour capturer et lire les informations contenues dans un code-barres.	La demande d'achat de l'entreprise est convertie en un bon de commande.	Les produits reçus sont expédiés.	L'entreprise crée un nouveau bon de commande
Déclencheur	L'information sur le produit est transformée en une sortie électrique	L'entreprise et le fournisseur se mettent d'accord et signent un contrat.	L'entreprise choisit la meilleure méthode d'expédition	L'entreprise approuve le bon de commande
Pré-conditionnement	Les produits reçus contiennent un code-barres qui doit être scanné et lu.	L'entreprise et le fournisseur signent tous deux le contrat.	L'entreprise sélectionne la méthode d'expédition et les autres parties prenantes acceptent de livrer les produits achetés.	Le bon de commande est approuvé
Post-conditionnement	Le décodeur transmet les données de manière lisible par l'homme à un ordinateur.			L'entreprise et le fournisseur parviennent à un accord sur les termes du contrat.
Scénario de réussite	Les données de produit reçues sont scannées et lues	La demande d'achat est directement traduite en un bon de commande.	Les produits achetés sont expédiés	Un bon de commande est finalisé
Scénario d'échec	Les données de produit reçues ne sont pas scannées et lues	La demande d'achat n'est pas traduite directement en un bon de commande.	Les produits achetés ne sont pas expédiés	Un bon de commande n'est finalisé

4.4.1 Cartes de collaborateur de responsabilité de classe

Dans la modélisation orientée objet des compétences clés, le diagramme de classe est le plus déterminant. Le graphique du cas d'utilisation décrit uniquement les relations système/acteur. Le diagramme de classes examine les propriétés structurelles et représente les choses de manière abstraite. Les classes et leurs interactions, telles que la généralisation, les associations,

l'agrégation et d'autres types de dépendances, sont les principaux composants de cette vue statique. Le nom, les propriétés et les activités de chaque classe sont répertoriés dans le diagramme de classes (Barashev, 2016). Comme l'illustre la figure 29, les cartes de collaborateur de responsabilité de classe (CRC) sont utilisées pour donner un document complet qui inclut les attributs de chaque classe et décrit ses fonctions, ainsi que les acteurs qui indiquent les connexions entre les classes du système de gestion d'entrepôt.

Comme le montre le tableau 26, différents ensembles de cartes CRC sont affichés par chaque classe du SGE. En plus des cartes CRC standard, présentées comme des interfaces sous-classées de la classe du SGE.

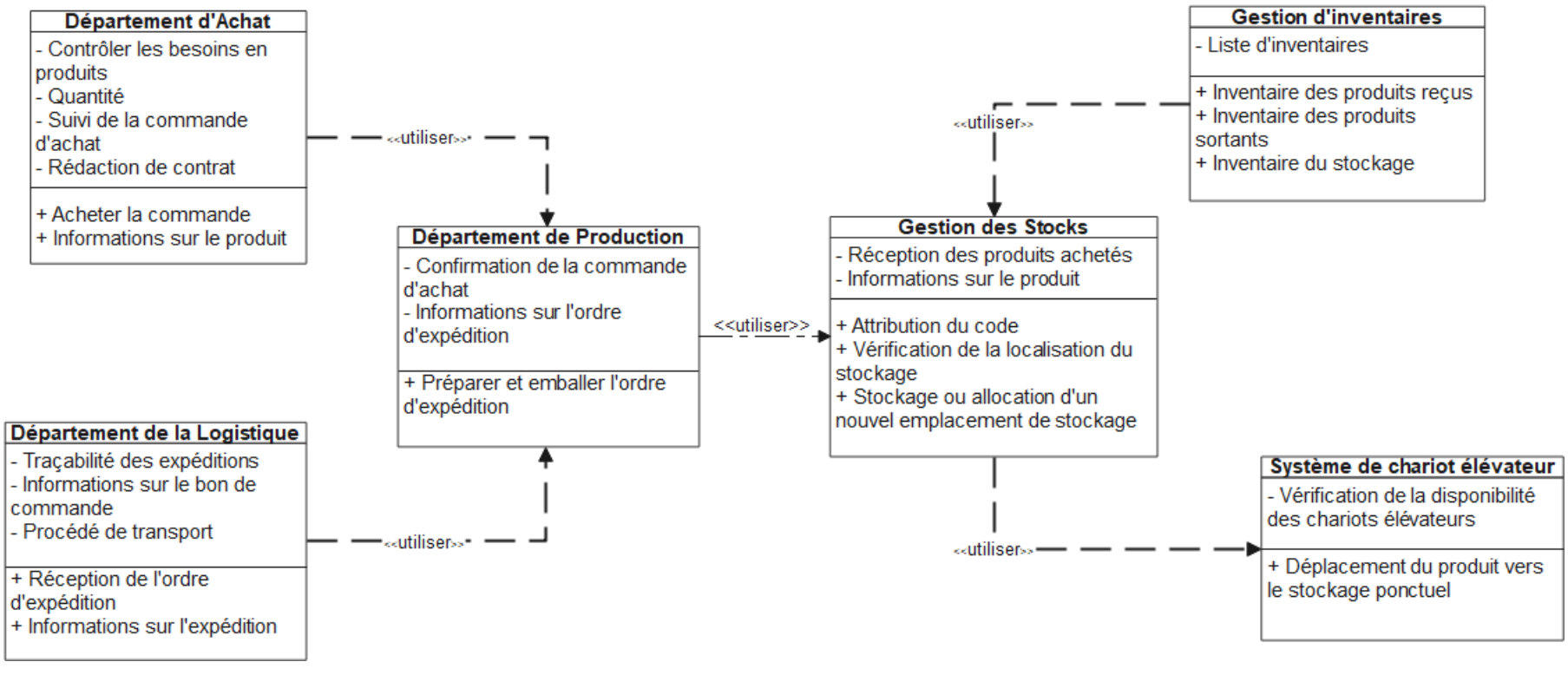


Figure 29: Diagramme de classe du système de gestion d'entrepôt de l'entreprise TBC.

(Source: Élaboration des auteurs)

Tableau 26: CRC du système de gestion d'entrepôt.

Carte CRC	Description	Collaborateur
Département des achats	L'entreprise recueille des informations sur le produit, telles que le nom du produit, la quantité requise, la description et le prix d'achat le plus récent. Les informations recueillies sur le produit sont ajoutées à la demande d'achat par l'entreprise.	Département de la production
Département de la production	L'entreprise prend des matières premières auprès des vendeurs et les transforme en produits finis. L'entreprise évalue les marchandises en fonction des critères fournis par les clients. L'entreprise répare ou remet à neuf les produits finis hors commande.	Département des achats Département de la logistique Gestion des stocks
Gestion des stocks	L'entreprise met à jour la liste des stocks et l'espace d'affectation afin d'avoir une meilleure rotation des stocks. Les produits sont inspectés par l'entreprise. Les produits sont reçus et placés dans l'entrepôt.	Système de chariots élévateurs Département de la production Gestion des inventaires
Gestion des inventaires	L'entreprise détermine quel stock commander et quand le commander. L'entreprise assure le suivi des stocks de l'achat à la vente. Afin de garantir qu'il y ait toujours suffisamment de stock pour répondre aux commandes des clients et de les avertir correctement en cas de pénurie, l'entreprise reconnaît et réagit aux tendances.	Gestion des stocks
Département de la logistique	L'entreprise dirige efficacement et gère le transport des marchandises, ainsi que leur entreposage. Le mode d'expédition des produits qui seront expédiés est choisi par l'entreprise. L'entreprise ajoute les détails de l'expédition au bon de commande et l'envoie soit directement au fournisseur, soit au transitaire en cas d'expédition directe.	Département de la production
Système de chariot élévateur à fourche	L'entreprise détermine la méthode la meilleure et la plus efficace pour prélever et déplacer les marchandises dans l'entrepôt sur de petites distances.	Gestion des stocks

(Source: Élaboration des auteurs)

4.4.2 Moteur de traitement pour le SGE

Le flux de travail des activités du SGE de TBC est illustré à la figure 30. Tout d'abord, les produits sont achetés, acquis et stockés temporairement dans le module d'entrée de l'entrepôt. Le personnel effectue ensuite des inspections telles que le contrôle de la qualité et le comptage du nombre des produits entrants. Les produits seront renvoyés au fournisseur s'ils présentent des défauts ou ne répondent pas aux exigences d'achat. Le processus de stockage se poursuit si les produits répondent aux exigences et au niveau de conformité.

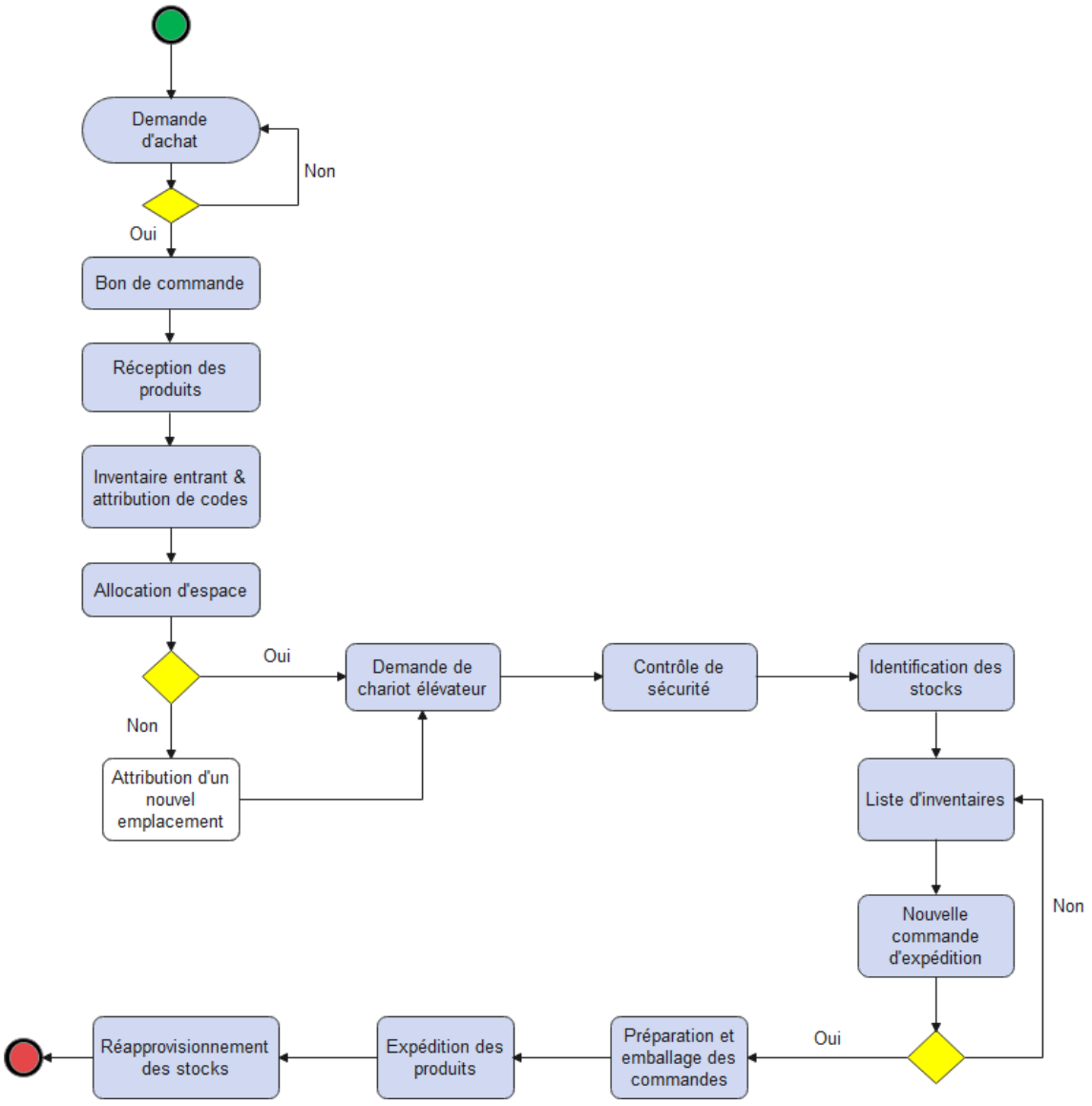


Figure 30: Diagramme d'activité du système de gestion d'entrepôt de l'entreprise TBC.

(Source: Élaboration des auteurs)

Dans la procédure de stockage, les opérateurs déploient la technologie de l'IDRF pour enregistrer les données. Il y a un risque de commettre une erreur à ce stade, par exemple en enregistrant un stock supérieur ou inférieur au stock réel reçu. Après que l'opérateur a enregistré les données relatives aux marchandises, il est nécessaire de vérifier que l'enregistrement est exact. Le processus de stockage est terminé si l'enregistrement est correct. L'opérateur vérifie l'enregistrement inexact et le supprime s'il est inexact. L'opérateur réenregistre les produits après le processus de suppression.

Pendant ce temps, les données sont échangées. Toutes les informations transitent par les mises à jour sans fil du SGE lorsque l'opérateur utilise la technologie pour saisir les informations sur les produits, telles que la quantité et le lieu de stockage. Une fois les données recueillies dans la section de collecte des données, elles sont transmises comme paramètre d'entrée à la section de préparation des commandes, qui génère la technique optimale de préparation des commandes.

Comme mentionné dans la section 3, l'enregistrement des marchandises entrantes est plutôt simple à utiliser à ce niveau. L'interface des applications mobiles suggérées pour TBC pour saisir et mettre à jour les données des différents articles est illustrée à la figure 31.

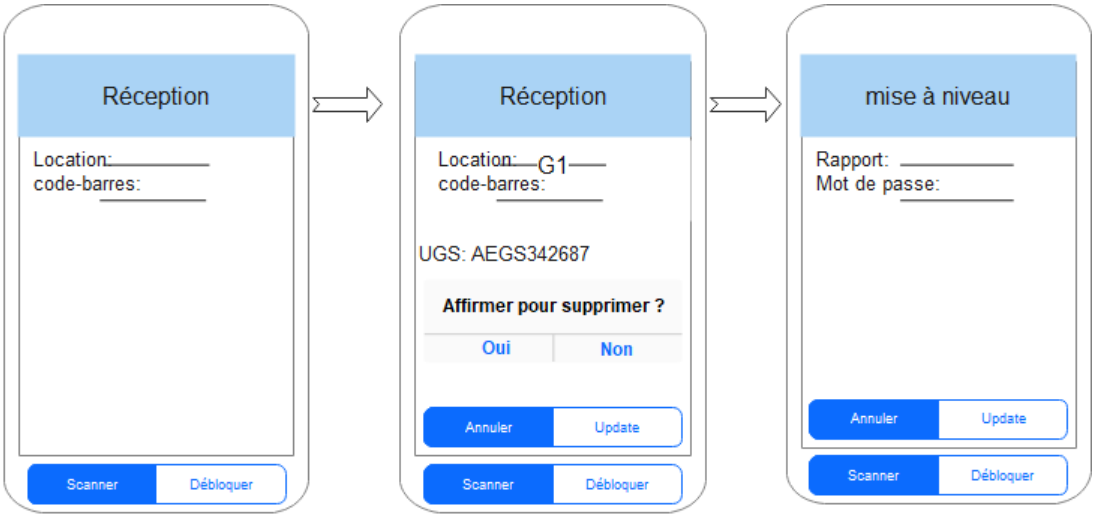


Figure 31: L'interface de l'application mobile pour le processus de réception.

(Source: Élaboration des auteurs)

L'entreprise TBC crée diverses connexions sous le projet dans le système de PRE avec des informations associées telles que le numéro du produit, la date de début prévue, la quantité demandée, etc. lorsque les clients de TBC demandent des projets spécifiques ayant une exigence de variation. La figure 32 décrit les interactions entre les classes comme une série de messages échangés au fil du temps. Le fait que le temps aille de haut en bas est une caractéristique clé de ce diagramme de séquence ; l'interaction commence vers le haut et se termine vers le bas. Le diagramme de séquence se compose d'une liste de contributeurs (département logistique, département des achats, gestion des stocks...) qui sont généralement organisés par ordre d'activation. Les messages transmis aux utilisateurs et reçus de ceux-ci sont

représentés par des flèches et sont organisés tout au long de l'axe vertical en fonction de l'heure d'envoi ou de réception.

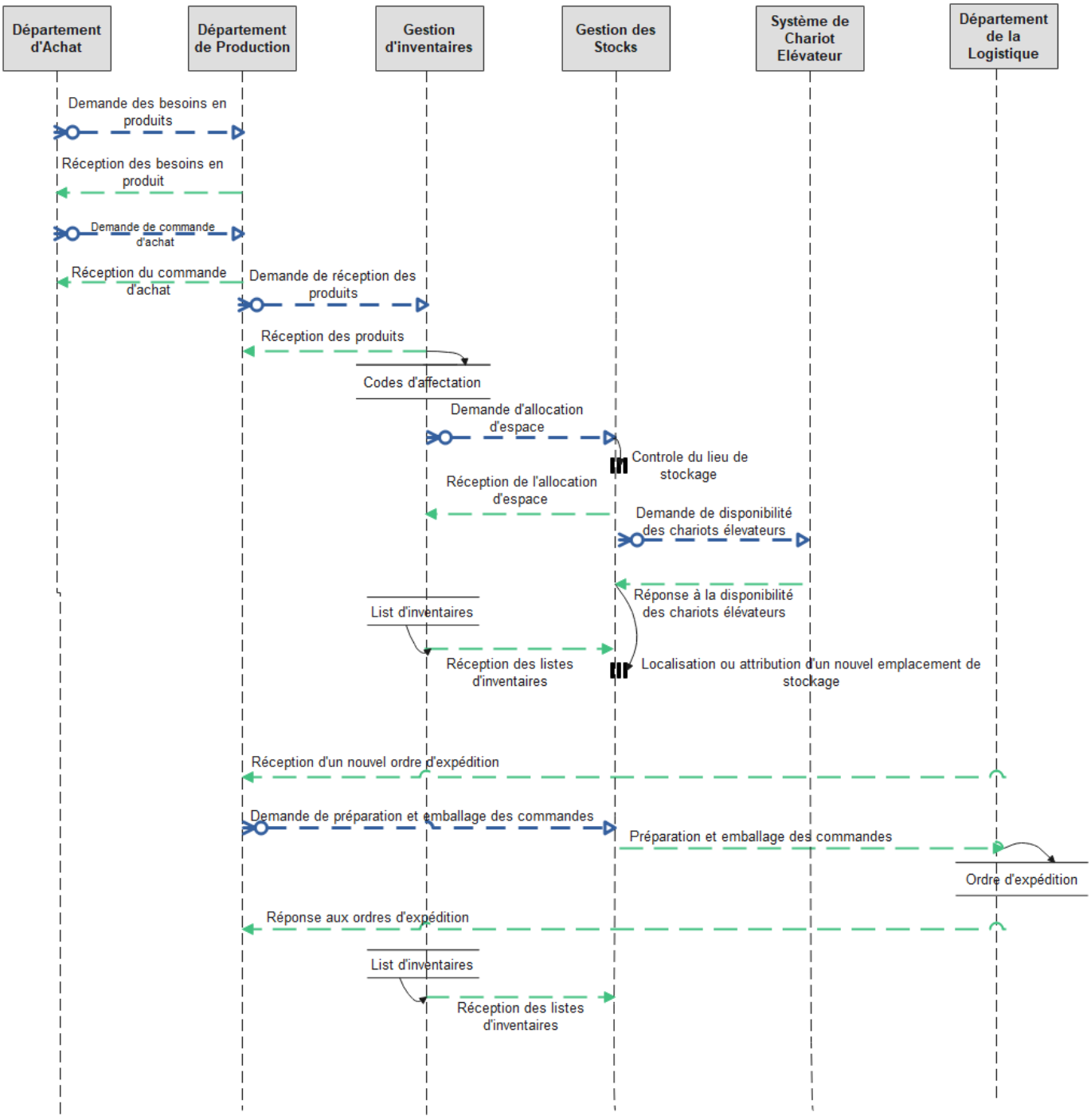


Figure 32: Diagramme de séquence du SGE de TBC.

(Source: Élaboration des auteurs)

4.5 Discussions

L'objectif de cette étude était de montrer la manière dont la technologie de l'IAdO est susceptible de transformer les SGE standard en SGCE. Cette recherche montre des preuves préliminaires liant l'application de l'IAdO proposée aux aspects de l'EC de réutilisation, d'optimisation, de retrait, de recyclage et de virtualisation, en utilisant une étude de cas de l'industrie automobile.

La réutilisation consiste à conserver des stocks supplémentaires dans le même espace en utilisant un cadre d'agencement dynamique, dans lequel un SGE automatisé guide les opérateurs vers les emplacements et les préparateurs de commandes disponibles où le stock est logé pour un traitement optimal des commandes. L'optimisation se concentre sur l'examen des différents chemins disponibles pour le prélèvement d'un produit en stock et sur l'instruction aux opérateurs de compléter leurs instructions de préparation de commande en utilisant le chemin le plus efficace en fonction de l'emplacement (Atabaki et al., 2020). Le retrait consiste à exclure les comptages réguliers des stocks. C'est l'approche la plus efficace pour maintenir l'exactitude des stocks, réduire les pertes et assurer le bon déroulement des opérations pendant le comptage (Garrido-Hidalgo et al., 2020). La boucle implique des opérations en circuit fermé dans lesquelles les marchandises suivent un parcours circulaire plutôt que linéaire (Atabaki et al., 2020). Les biens sont réutilisés, rassemblés, retraités et retournés à l'économie sous cette forme (Kouhizadeh et al., 2019). "Virtualiser" fait référence à la pratique consistant à visualiser des produits et des méthodes tout en donnant une utilité virtuelle (Bressanelli et al., 2022). La partie virtualisée de l'idée d'EC implique la disponibilité des données et l'interaction qui remplace ou reporte la consommation physique réelle du produit (Kouhizadeh et al., 2019).

Les résultats de cette étude montrent comment un système de l'IAdO peut aider à l'ergonomie des entrepôts en permettant le SGCE. Étant donné la rareté des solutions d'IA et de l'IdO pour le SGCE dans la littérature, cette étude vise à contribuer aux domaines de recherche du SGCE et de l'IAdO en testant la solution créée dans une supply chain réelle.

En partant de la première question de recherche (QR1 : Comment une solution de l'IAdO est-elle déployée dans un SGE réel en vue d'une économie circulaire ?), cette étude a offert un aperçu technique de haut niveau de nombreux composants employés pour favoriser le SGE au sein de l'organisation. La technique orientée objet permet la mise en correspondance automatisée des membres de l'entrepôt ainsi que la soumission et l'analyse des données en temps réel. Une entreprise qui souhaite créer des solutions de l'IAdO pour le SGCE dans son entrepôt pourrait utiliser l'application de l'IAdO. Dans le cadre de l'industrie 4.0, (Basile et al., 2019) ont découvert que la communication des données en temps réel facilite l'intégration des entrepôts. Le système développé, similaire à (Basile et al., 2019), apporte une précieuse fonctionnalité de soumission et d'évaluation des offres, qui est employée comme une application Web incorporée accessible depuis n'importe quel appareil dans une entreprise. D'autre part, (Kumar and Shoghli, 2018), affirment que l'engagement de la direction, la formation, les informations sur la confidentialité et l'éducation sont des obstacles importants à l'utilisation des outils de l'industrie 4.0 dans le SGE.

Le simulateur intelligent circulaire est le deuxième outil qui a été développé. Il sera responsable de l'analyse nécessaire pour fournir des ensembles de résultats, des flux de données traitées et des scénarios de simulation à utiliser dans le SGCE, la réingénierie des systèmes et la

réutilisation qui soutiennent la gestion des ressources dans l'entrepôt en boucle fermée en fournissant une visibilité totale, la transparence, la confiance et la digitalisation des procédures de gestion des stocks parmi l'entreprise du cas. La recherche dans le domaine des supply chains a souligné l'importance de disposer d'un processus qui empêche les membres malveillants de modifier les enregistrements, en particulier dans des cas comme les entrepôts où les échanges entre les participants ont lieu dans le monde entier et où la surveillance est difficile (Ahoa et al., 2020; Chang et al., 2019). Cela est également essentiel pour les scénarios d'EC, car les entreprises doivent démontrer leur caractère écologique aux collaborateurs, aux clients et aux contrôleurs externes ou aux autorités publiques (Bai et al., 2022; Manavalan and Jayakrishna, 2019b). L'IAdO est une technologie révolutionnaire, ainsi que les applications décentralisées de suivi et de localisation, peuvent jouer un rôle à cet égard en permettant à quiconque de suivre n'importe quelle ressource tout au long de son parcours entre toutes les étapes et les parties prenantes, en prouvant son authenticité et en fournissant des informations en temps quasi réel sur l'état et l'emplacement de l'actif, ainsi que l'historique complet de toutes les étapes antérieures.

Pour répondre à la deuxième question de recherche (QR2 : Comment une solution de l'IAdO se comporte-t-elle par rapport aux dimensions de l'EC dans un SGE réel), les résultats suggèrent que la solution de l'IAdO renforce le SGE. La technique orientée objet est utilisée pour évaluer la solution de l'IAdO développée du point de vue de l'EC.

Par conséquent, le système de l'IAdO proposé favorise les opérations d'EC dans le secteur automobile, selon les résultats. L'établissement d'un écosystème de gestion d'entrepôt digitale partagé qui favorise les opérations collaboratives vers l'EC est l'avantage le plus significatif pour l'entreprise concernée.

Les résultats de cette étude sont conformes aux recherches précédentes, qui montrent que les technologies d'IA et d'IdO peuvent aider les entreprises à développer des pratiques d'EC (Chauhan et al., 2022). Selon (Kouhizadeh et al., 2019), la digitalisation des entrepôts entraîne une réduction des déchets et des ressources, ainsi que des connaissances et une excellence opérationnelle, qui permettent de prendre des décisions stratégiques.

La solution de l'IAdO proposée présente des avantages environnementaux et économiques, notamment en termes d'efficacité opérationnelle, de réduction des déchets et de transparence, tout en réduisant les coûts. Dans l'ensemble, la solution suggérée favorise l'EC dans tout l'entrepôt et aide les entreprises qui cherchent à mettre en œuvre des solutions de l'industrie 4.0 pour améliorer leur efficacité en matière d'EC. Les principaux avantages de la solution suggérée sont la réduction des procédures manuelles, des ressources et des coûts, la visibilité de l'entrepôt, l'automatisation du suivi des stocks, l'optimisation du jumelage des partenaires de l'entrepôt et une prise de décision efficace et améliorée.

La solution proposée améliore les performances environnementales et économiques en augmentant la transparence de l'information et son utilisation démontre comment conserver plus de stocks dans le même espace tout en optimisant et en organisant les itinéraires de prélèvement, ce travail est considéré comme une étape vers l'EC. La méthodologie de cette étude est cruciale pour les entreprises qui cherchent à mettre en œuvre des méthodes de stockage plus respectueuses de l'environnement. La mise en œuvre de ce modèle dans l'entreprise de cas ajoute à la preuve empirique des solutions de l'industrie 4.0 pour la construction du SGCE, permettant des stratégies de fabrication et du management de la supply chain plus durables.

4.6 Conclusions

En raison de la complexité et de la diversité des commandes des clients, ainsi que de l'exigence d'informations en temps réel, les opérations d'entreposage doivent évoluer en conséquence. Par conséquent, à l'ère de l'industrie 4.0, l'ancien fonctionnement manuel de l'entrepôt n'est plus adapté aux producteurs. Par conséquent, un SGCE innovant est essentiel pour augmenter la productivité et permettre l'exécution personnalisée des commandes.

La solution créée répond à la première question de recherche sur la mise en œuvre de solutions de l'IAdO en tant que facilitateur de l'EC. La technique orientée objet est utilisée comme outil de guidage pour évaluer le scénario ergonomique unique de l'entrepôt et répondre à la deuxième question de recherche, ainsi que pour discuter des résultats.

Dans ce chapitre, le SGCE proposé est combiné à une stratégie orientée objet pour sélectionner l'option de stockage la plus appropriée, augmentant ainsi l'efficacité de l'entrepôt ergonomique. Les résultats de l'étude de cas suggèrent que le SGCE pourrait contribuer à améliorer les performances opérationnelles de l'entrepôt en termes d'avantages tangibles et intangibles. Il peut améliorer l'exécution des commandes, comme le taux d'exécution des commandes et la fiabilité des commandes. En ce qui concerne les avantages tangibles, il peut en outre améliorer le temps de réception, la gestion des stocks et l'efficacité de la préparation des commandes dans l'entrepôt. En termes d'avantages intangibles, il peut améliorer les méthodes d'emballage et les stocks peuvent être suivis grâce à l'IDRF. En outre, le moral et le bien-être des employés peut être stimulé et amélioré. Les règles d'expédition et d'emballage n'ont pas été examinées en détail car cette étude se concentre sur les applications réelles et les activités de stockage et de réception. Cependant, l'optimisation des performances d'un entrepôt nécessite une allocation minutieuse de l'espace et une diminution de la distance de déplacement. Par conséquent, les travaux futurs de l'application orientée objet pour la zone séquentielle, le lot de la zone et les méthodologies de sélection peuvent être étudiés plus avant. L'intégration de la Blockchain sera l'une des orientations futures pour renforcer la logistique intelligente et les données peuvent être davantage automatisées afin que le fonctionnement de l'entrepôt puisse être rationalisé avec des performances, une efficacité et des coûts plus faibles à long terme. Des recherches plus approfondies sur les systèmes robotiques intelligents devraient être menées, car ils modifient les activités d'entrepôt, de sélection et d'emballage, de la marchandise au préparateur, au préparateur à la marchandise, en utilisant des robots. En général, l'adoption de l'IdO et de la blockchain est la principale perspective future pour améliorer l'efficacité des entrepôts.

Conclusions et perspectives

Dans cette thèse, l'impact de la transformation digitale - Industrie 4.0 - sur la performance du management de la supply chain a été étudié afin d'améliorer l'efficience, l'efficacité et la résilience du management de la supply chain. En raison de la nature explicative des questions, le protocole de deux études de cas a été choisi pour entreprendre cette thèse. Les études de cas étudiées ici sont l'utilisation des principaux liens entre les technologies de la transformation digitale et les aspects de durabilité dans la gestion des entrepôts de la supply chain automobile.

La littérature des concepts de transformation digitale et du management de la supply chain a été examinée, et des modèles conceptuels des principaux aspects des technologies de l'industrie 4.0 et de la durabilité dans la réalisation de la performance du management de la supply chain ont été dessinés. Pour aider à répondre aux questions principales de la recherche, les données ont été principalement recueillies en menant une étude DELPHI. Des données complémentaires ont également été recueillies dans des rapports d'entreprises automobiles.

L'objectif principal de cette recherche était d'évaluer les aspects de la transformation digitale et de la durabilité qui améliorent la performance du management de la supply chain et les effets qu'ils ont sur la performance de l'entreprise. Nos résultats aident à répondre aux questions de recherche énoncées en étudiant une supply chain automobile réelle et en fournissant une feuille de route capturant les flux de matériaux, de données et d'informations pertinentes, suivie d'une carte des écosystèmes visualisant les interrelations sous-jacentes activées par la mise en œuvre conjointe de l'IA et de l'IoT dans les opérations de gestion d'entrepôt. Les modèles proposés résument les éléments de données clés qui doivent être enregistrés, partagés et analysés à travers les principaux échelons d'un système de gestion d'entrepôt comme base pour la mise en œuvre réussie de la transformation digitale dans les opérations de gestion d'entrepôt. Les principaux résultats pour chaque objectif de recherche sont présentés.

Objective 1 : Identifier les aspects majeurs de la transformation digitale qui conduisent à la durabilité de la supply chain

Sur la base des résultats théoriques et empiriques examinés aux chapitres 1 et 2, la transformation digitale -Industrie 4.0- consiste en un groupe de technologies qui sont appliquées dans les processus de la supply chain en la rendant plus sûre, autonome et efficace. Les technologies qui sont privilégiées par les entreprises de la supply chain sont l'internet des objets et l'intelligence artificielle. Pour trouver les principaux aspects de la mise en œuvre de la transformation digitale dans la réalisation d'une supply chain durable, un cadre conceptuel pour l'intégration de la technologie de l'IdO dans une supply chain automobile écologiquement durable a été développé, et les plans d'action potentiels et les dangers potentiels qui peuvent émerger pendant le processus d'incorporation ont été identifiés et classés, en utilisant une combinaison du modèle ReSOLVE et de la technique Delphi. Sur les 78 experts qui ont été invités à participer à l'étude, 32 spécialistes l'ont finalement terminée, ce qui prouve que les critères établis pour trouver les experts pour l'étude étaient réussis. Les critères établis pour atteindre un consensus en utilisant une variété de facteurs se sont également avérés importants, car un ou deux éléments seulement pourraient être incorrects et produire des résultats erronés.

Le taux de consensus élevé de l'étude, compte tenu du fait qu'elle a utilisé deux cycles séquentiels de Delphi, démontre également le succès de la sélection des experts et du sujet du débat. Les résultats descriptifs du chapitre 2 révèlent également que de grandes quantités de données précises et opportunes peuvent être recueillies avec la technologie de l'IdO dans la supply chain automobile durable sur le plan environnemental, ce qui permet de détecter plus tôt les écarts. L'accessibilité des données concernant la position précise, ou l'état des biens ou de l'écosystème facilite la capacité à reconnaître la nature des problèmes potentiels et à prendre les mesures nécessaires. En mettant en place des alertes précoces sur les irrégularités du système qui se manifestent, par exemple, par des retards dans l'heure d'arrivée prévue (HAP), il est possible de réagir plus rapidement. Les données historiques du système de l'IdO peuvent être enregistrées et examinées pour aider à identifier les problèmes, améliorer les performances et créer des projections futures plus précises.

Objective 2 : Préciser la relation entre la transformation digitale et la durabilité d'une supply chain

L'étude actuelle a également cherché à identifier la relation entre la transformation digitale et les principaux aspects de la durabilité. Cet objectif a également été atteint et a été présenté dans les chapitres 3 et 4. Dans le chapitre 3, un modèle de théorie des ensembles flous basé sur l'internet des objets a été développé et testé au sein d'une entreprise automobile pour évaluer la performance du mangement de la supply chain, en l'occurrence de la gestion écologique des stocks de l'entrepôt et de nombreuses approches de défuzzification ont été utilisées pour démontrer que l'aspect écologique de la durabilité a un grand impact sur la performance du management de la supply chain. Et dans le chapitre 4, un système de gestion circulaire d'entrepôt (SGCE) basé sur l'intelligence artificielle des objets (IAdO) est conçu et testé dans le cadre d'une étude de cas automobile utilisant une supply chain du monde réel pour évaluer la performance de durabilité d'un SGCE pour la transformation digitale. En reliant l'approche proposée aux aspects de l'économie circulaire que sont la réutilisation, l'optimisation, la suppression, le recyclage et la virtualisation, des avantages évidents sont fournis. Les résultats des chapitres 3 et 4 confirment que l'utilisation de la technologie de l'IAdO pour restructurer l'entrepôt en vue d'une économie circulaire peut permettre au SGCE et jouer un rôle positif et significatif dans la réalisation d'un management durable de la supply chain (MDSC). Les résultats indiquent également que la digitalisation des supply chains peut aider à la transparence et à la traçabilité tout en favorisant la performance durable et l'exactitude des données.

Objective 3 : Structurer une feuille de route de déploiement de la transformation digitale et les principaux aspects de la durabilité autour de l’amélioration des opérations cruciales de la supply chain, en l'occurrence l'entrepôt par l’utilisation des nouvelles technologies.

En outre, la recherche visait à structurer une feuille de route de déploiement de la transformation digitale et les principaux aspects de la durabilité autour de l’amélioration des opérations cruciales de la supply chain, en l'occurrence l'entrepôt par l’utilisation des nouvelles technologies. L'étude de recherche a été développée sur un sujet brillant qui répond aux appels des chercheurs précédents. L'industrie 4.0 apporte une ère de révolution de la supply chain par la digitalisation soutenue par l'IA et l'IdO. Globalement, les entreprises se dirigent progressivement vers l'adoption de ces technologies habilitantes pour éviter de périr dans cet environnement volatile, incertain, complexe et ambigüe. Dans ce contexte, nous pouvons

conclure que la mise en œuvre et l'utilisation de la transformation digitale et de la durabilité influence positivement la performance de la supply chain. Théoriquement, les principales étapes pour adopter la TD et la durabilité au sein de la supply chain ont été expliquées dans les chapitres 1 et 2, et ce à travers quatre domaines d'intervention (logistique, production, supply chain et marketing). Les résultats de l'analyse descriptive des chapitres 3 et 4 ont montré qu'il existe des facteurs clés pour réussir la transformation digitale et l'adoption de la durabilité, comme les achats écologiques, la réception écologique des articles, l'exécution écologique des commandes, la gestion écologique des stocks, les commandes de vente écologiques et la livraison écologique en phase avec l'adoption de l'IdO d'une part. D'autre part, les aspects d'économie circulaire de réutilisation, d'optimisation, de suppression, de recyclage et de virtualisation peuvent être combinés avec l'intelligence artificielle des objets pour restructurer et réorganiser l'ensemble des opérations de la supply chain. Sur la base de ce qui précède, le troisième objectif de cette étude a été atteint. Par conséquent, cette étude conclut que la combinaison de la TD avec les principaux aspects de la durabilité peut créer une nouvelle architecture de la SC avec une grande visibilité, transparence, efficacité et efficience.

Objective 4 : Analyser qualitativement et quantitativement l'efficience et l'efficacité du modèle intégrant le concept de la transformation digitale et du management durable de la supply chain, ainsi la résilience des modèles proposés de la gestion de l'entrepôt.

Enfin, cette étude visait à analyser qualitativement et quantitativement l'efficience et l'efficacité du modèle intégrant le concept de transformation digitale et du management durable de la supply chain, ainsi que la résilience des modèles de gestion d'entrepôt proposés. Les résultats de la cartographie illustrent le rôle central de la transformation digitale et de la durabilité dans la réalisation d'une supply chain efficiente et efficace, tandis que l'impact associé de la durabilité et des technologies de pointe dépend des paramètres et des objectifs fixés par les parties prenantes du système impliqué. Ces résultats ont montré que l'adoption et la mise en œuvre de la transformation digitale et de la durabilité peuvent aider les entreprises de la supply chain à améliorer leur transparence et leur traçabilité tout en stimulant leur performance durable, les aider à améliorer leur structure, promouvoir des processus de fabrication plus propres, favoriser la croissance d'un écosystème d'innovation et améliorer les chaînes de valeur. Les résultats ont également confirmé que l'adoption et la mise en œuvre de la TD en même temps que la durabilité permettra de gérer les entrepôts en assurant l'efficacité globale, la sécurité, la sûreté des produits, la réduction des coûts globaux et l'analyse en temps réel. Par conséquent, cette étude conclut que la combinaison de la durabilité et du TD est nécessaire pour améliorer les performances du management de la supply chain.

Apports managériaux

Les résultats de cette thèse ont des implications managériales qui sont expliquées dans cette section. Cette étude a cherché à faire des implications pratiques et théoriques pour les entreprises de la supply chain dans les contraintes des propriétaires/gestionnaires et des décideurs politiques. Elle suggère des moyens de mettre en œuvre les technologies de l'industrie 4.0 de manière à améliorer non seulement l'efficacité et les processus, mais aussi la durabilité de la supply chain face au changement climatique. Voici quelques réflexions et suggestions à prendre en compte :

- ✓ En se concentrant sur les technologies de l'I4.0 dans le domaine de la supply chain, l'étude met d'abord en évidence l'état de la littérature telle qu'elle se présente aujourd'hui. En deuxième lieu, l'étude montre que la TD a un impact bénéfique sur les performances de la SC. Par conséquent, les résultats peuvent aider les académiques à mieux saisir le rôle stratégique que ces aspects jouent dans l'atteinte de l'objectif de durabilité. En troisième lieu, en offrant un cadre structuré pour une discussion plus approfondie des avantages potentiels et des facteurs de succès de certaines technologies de I'I4.0 - AI et IoT -, cette étude contribue à l'adoption de la TD dans le management durable de la SC. Les modèles que nous avons créés favorisent une approche globale du management durable de la SC.

- ✓ Outre des contributions théoriques et pratiques, cette étude présente les implications managériales de l'adoption de la technologie de l'IdO pour améliorer la durabilité de la supply chain. La cible principale de cette étude, l'industrie automobile, investit massivement dans les technologies de l'IdO. Tant les éléments qu'elle promeut que ceux qu'elle utilise pourraient faire l'objet de ces efforts. La supply chain durable peut être soutenu efficacement par les technologies de l'IdO. L'approche de cet étude peut aider les praticiens à intégrer les technologies de l'industrie 4.0, surtout si l'on considère leur importance croissante et leurs liens avec la durabilité de la supply chain. Notre étude offre une orientation préliminaire pour une prise en compte explicite de la SCAD à l'aide des technologies de l'IdO. Ces perspectives et cette facilitation sont nouveaux. Il est difficile pour les praticiens de mettre en œuvre simultanément toutes les technologies de l'I4.0 dans le contexte de l'IdO du monde réel. Par conséquent, les managers auront tout intérêt à se concentrer sur les meilleures technologies de l'industrie 4.0 pour eux et leur secteur d'activité, grâce à la priorisation de la trajectoire et des liens de la SCAD et des technologies de l'industrie 4.0 utilisées dans cette étude.

- ✓ Bien que nous prenions en compte les priorités et l'importance de l'ensemble du secteur, les organisations peuvent constater que les impacts de la SCAD sur la performance et l'efficacité diffèrent en fonction des particularités de l'industrie ou d'autres facteurs. L'industrie automobile peut être extrêmement diversifiée, avec des entreprises de tailles différentes qui peuvent exister à divers points de la supply chain. Par exemple, certaines de ces organisations peuvent être chargées des activités liées à la reprise et au ré-usinage des automobiles. Dans ce contexte, elles peuvent prendre en compte des facteurs technologiques différents de ceux sur lesquels les fabricants d'équipements d'origine normaux se concentrent lorsqu'ils fabriquent ou assemblent leurs produits. Les managers doivent donc faire preuve de prudence dans l'interprétation de ces résultats, qui pourraient également servir de conseils généraux sur l'importance relative et les implications de la SCAD.

- ✓ Les organismes gouvernementaux et les principaux acteurs de l'entreprise devraient élaborer des réglementations qui soutiennent la mise en œuvre des technologies de l'IdO et des activités commerciales durables sur le plan environnemental dans la SCA. Pour sensibiliser les parties prenantes, il faudrait aborder la question de l'évolution de la culture d'entreprise, tant en interne qu'en externe. Des enquêtes doivent être menées pour évaluer les organisations de sensibilisation individuelles. Il faut donner le feu vert aux parties prenantes pour qu'elles adhèrent à ce point de vue, et promouvoir la coopération. Le gouvernement et les entreprises doivent également prévoir des récompenses et des rémunérations dans leurs processus pour encourager les organisations à adopter ce nouveau paradigme. Les organisations doivent exercer une pression sur le gouvernement pour qu'il fournisse des fonds et des stimulants pour le développement de produits plus respectueux

de l'environnement et le maintien de pratiques durables en matière d'environnement. En outre, il est recommandé à une organisation d'examiner tout comportement des employés susceptible d'affecter la manière dont les choses sont faites en raison de l'appréhension du changement culturel. Il est conseillé aux entreprises publiques et privées de mener des campagnes de sensibilisation auprès de leur personnel et de leurs clients afin d'améliorer la durabilité et l'efficacité opérationnelle de la TD. Ces initiatives amélioreront la communication entre les entreprises et les consommateurs et les inciteront à créer des systèmes durables sur le plan environnemental. Les conclusions et les suggestions de cette étude sont cohérentes avec celles de deux études récentes de (Yadav et al., 2020) et (Turner et al., 2022). La mise en œuvre efficace de ces méthodes peut ouvrir la voie à l'adoption par la SCA de la technologie de l'IdO et de la durabilité, ouvrant la voie aux avantages socio-économiques et environnementaux qui en découlent.

- ✓ Les principaux points à retenir pour les managers sont les suivants. Les responsables doivent concevoir un projet de la TD en tenant compte des facteurs qui peuvent influencer la durabilité de la supply chain. Les entreprises doivent collaborer avec les instituts de recherche et les universités pour le développement des infrastructures de la TD. Une telle collaboration sera très bénéfique en termes de développement des compétences, de formation des ressources humaines et de transferts. Il est essentiel pour les entreprises de pratiquer une bonne gouvernance informatique afin de maintenir un niveau élevé de sécurité et de normes informatiques. En outre, la TD -l'industrie 4.0- exige de nouvelles compétences en matière de leadership et un engagement de la direction à l'égard des projets de la TD. L'approbation de la direction pour des investissements importants dans les nouvelles technologies est nécessaire pour mettre à niveau les infrastructures adaptées à la TD. Les entreprises doivent non seulement se concentrer sur l'automatisation des processus, les systèmes de qualité et les clients pour obtenir de meilleurs résultats, mais aussi sur le développement du capital humain et la gestion du changement pour assurer la durabilité sociale. Les dirigeants doivent également se concentrer sur l'intégration horizontale et verticale pour atteindre les objectifs digitaux de l'entreprise. Une bonne gouvernance d'entreprise est sans aucun doute utile pour établir des disciplines avec les parties prenantes internes, mais dans le même temps, l'ensemble des règles, politiques et plans d'action de l'entreprise doivent être conçus pour répondre aux exigences de la TD. Enfin, il ne faut jamais ignorer le rôle des audits externes et leur potentiel pour combler les lacunes dans la mise en œuvre du projet de la TD. Les audits externes permettent en effet d'identifier de manière proactive les différents risques associés. Sur la base du rapport d'audit, les responsables peuvent ensuite élaborer des plans d'action pour atténuer les risques dans le réseau de la supply chain.

Apports pratiques

Les managers de la digitalisation, les responsables de la technologie, les managers de la SC et les praticiens connexes qui sont à la tête d'initiatives de durabilité ou de SC digitalisée bénéficieront de l'étude méthodique fournie dans cette thèse pour développer une connaissance approfondie de la grande importance de la combinaison des principaux aspects de la durabilité et de la transformation digitale de diverses manières. Tout d'abord, les modèles proposés pourraient aider ces managers à acquérir une compréhension plus complète des technologies au cœur de la TD et des conséquences de ces technologies en termes de défis potentiels, d'avantages et de facteurs de réussite. Les deux technologies clés (IA et IdO) en particulier donnent aux managers un large éventail de solutions potentielles pour atteindre les objectifs de

leur management durable de la SC particulier. Cette étude pourrait servir à évaluer les avantages, les opportunités et les dangers d'une entreprise ciblée, à préparer les procédures opérationnelles correspondantes et à coordonner les efforts d'investissement pertinents, alors que les entreprises se battent pour créer un management durable, digital et avancé de la SC. Ensuite, la recherche aidera les praticiens à atteindre les objectifs de développement durable (ODD) en mettant en œuvre des stratégies comprenant la gestion des ressources, l'économie circulaire et la digitalisation. En outre, les managers pourraient parler des lacunes des systèmes hérités actuels de l'entreprise et des solutions potentielles utilisant des stratégies de durabilité et des technologies de la TD en utilisant les modèles proposés. En troisième lieu, le manque des travaux utilisant des données qualitatives et comportementales ainsi que l'utilisation éparse de méthodes analytiques de pointe comme les techniques d'apprentissage automatique et les réseaux neuronaux renvoient à la nécessité pour les praticiens d'examiner diverses facettes des pratiques de durabilité et de comprendre les aspects psychologiques des ODD. Enfin, le management durable et digitale (I4.0) de la supply chain (également connues sous le nom de "MDSC 4.0") peuvent faire partie intégrante de nombreuses tendances récentes et avoir un impact important sur celles-ci, notamment l'économie circulaire, la décarbonisation digitale, la durabilité et l'économie du partage (par exemple, (Bai et al., 2020; Khalifa et al., 2022)). Les résultats de notre étude peuvent être utilisés par les chercheurs dans ces domaines pour concevoir et planifier une transformation digitale durable du management de la SC.

L'étude actuelle fait progresser de manière significative la théorie et la pratique dans les sphères du SCA, de la durabilité et de la TD. Voici une discussion des conséquences de l'étude pour les académiques et les praticiens. La transformation digitale de l'industrie automobile sera alimentée par la demande des supply chains transparentes, visibles, traçables et efficaces. Les spécialistes doivent évaluer leur position actuelle dans le secteur, car l'essor des technologies affecte plusieurs opérations. Les professionnels doivent être conscients des avantages et des inconvénients de la TD dans la SCD ; avant qu'une entreprise n'adopte une technologie émergente, il est crucial d'effectuer des recherches pour évaluer le niveau de complexité et les avantages supplémentaires qu'elles apporteront. Ici, l'objectif principal est de démontrer aux praticiens les capacités, la gamme et les avantages de la TD dans la performance de la SCD et d'identifier les domaines cruciaux qui peuvent être automatisés et améliorés par les performances de la SCD. Les opérations de l'industrie automobile pourraient être transformées en entités interopérables et intelligentes grâce à la TD. La rentabilité et la productivité des équipementiers peuvent être accrues par l'évaluation des informations obtenues des installations, des opérations de production et de la logistique. Pour améliorer leurs processus commerciaux, favoriser la confiance et établir une vérité objective spécifique, les praticiens doivent investir dans le digitale et les nouvelles technologies. En outre, l'analyse Delphi révèle que La technologie de l'IdO pourrait être utilisée dans un large éventail d'applications dans tous les secteurs. Par exemple, le secteur automobile lui-même a des applications potentielles en dehors de celles abordées ici. Par exemple, la technologie de l'IdO peut être employée dans des écosystèmes de mobilité partagée, des programmes d'entretien automobile intelligents, la digitalisation des activités des postes de péage (Mary Dayana and Sam Emmanuel, 2020), le développement d'un modèle virtuel de voiture basé sur l'IdO et le suivi des événements de la vie des voitures tout au long de leur cycle de vie. Selon la vision et les capacités opérationnelles de chaque organisation, les scénarios d'utilisation de l'IdO peuvent varier. Par conséquent, les praticiens doivent procéder à une évaluation pour connaître les difficultés complexes auxquelles leur entreprise est confrontée, déterminer si la technologie de l'IdO pourrait résoudre ces difficultés et déterminer s'ils peuvent intégrer l'IdO dans leur réseau. Les professionnels en activité peuvent s'engager dans la technologie digitale pour améliorer leurs processus actuels une fois qu'ils ont une compréhension complète du potentiel de l'IdO dans leur écosystème. Les

applications d'apprentissage automatique contribuent également à l'efficacité et à la productivité des supply chains qui incluent l'IdO. Un meilleur contrôle de la logistique amont/aval, la rationalisation de l'acheminement des véhicules, l'utilisation efficace des équipements, la maintenance prédictive/préventive et l'amélioration du suivi de l'activité des fournisseurs sont autant d'avantages potentiels de cette interaction. La technologie digitale permet également une surveillance et un suivi en temps réel, des rappels de produits prompts en raison de défauts, la détection de fausses pièces et le suivi de l'activité réglementaire. Les équipementiers peuvent développer des supply chains et des processus de fabrication intelligents axés sur les données en mettant en œuvre la technologie digitale.

Apports Méthodologiques

La contribution méthodologique de ce travail se traduit par une présentation d'une revue de littérature sur la contribution de la transformation digitale à la performance du management de la supply chain et la logistique qui a permis tout d'abord de mettre en évidence les liens entre les principaux aspects de la transformation digitale - les technologies de l'industrie 4.0 - et les principes du management de la supply chain, avec un accent particulier sur la façon dont certaines technologies de l'industrie 4.0 améliorent le management de la supply chain, en fonction des niveaux de capacité des technologies. Ensuite, une étude Delphi a été menée auprès d'un panel représentatif de 37 experts pour donner aux praticiens et universitaires une meilleure compréhension de la façon d'intégrer un concept crucial de la transformation digitale - la technologie de l'internet des objets - dans une supply chain durable. Dans le même contexte, un modèle de théorie des ensembles flous basé sur l'IdO a été développé et testé sur une étude de cas de l'industrie automobile pour évaluer la performance d'un volet primordiale du management durable de la supply chain - la gestion écologique d'un entrepôt - dans le but d'améliorer l'efficacité et la résilience de la supply chain. Dans le même sens, un modèle de gestion circulaire d'un entrepôt basé sur l'intelligence artificielle des objets a été proposé et testé sur une étude de cas de l'industrie automobile. Le modèle vise à améliorer la recherche actuelle sur la transformation digitale en fournissant une preuve réelle de la façon dont la technologie de l'intelligence artificielle des objets et l'économie circulaire sont utilisées dans la pratique.

Dans ce contexte, la thèse fournit une caractérisation originale des impacts de la transformation digitale sur la performance du management de la supply chain dans le cadre des principes de la durabilité. D'un point de vue pratique, les modèles proposés peuvent aider le top management et décideurs à établir une feuille de route de déploiement de la transformation digitale et les principaux aspects de la durabilité autour de l'amélioration des opérations cruciales de la supply chain, en l'occurrence la gestion de l'entrepôt par l'utilisation des nouvelles technologies. En outre, les décideurs peuvent s'appuyer sur ces modèles pour cibler le type d'autonomie qu'ils désirent voir dans les équipes opérationnelles. L'objectif est d'améliorer la réactivité de la supply chain face aux problèmes et incertitudes, et d'anticiper les opportunités rencontrées sur le terrain. Cette étude offre également une première vision, des perspectives, des attentes et des risques associés à la mise en place de nouveaux modes de prise de décision et d'e-autonomie soutenus par la fusion de la transformation digitale et de la durabilité.

Limites de la recherche

Cette recherche est caractérisée par des limites qui pourraient motiver des recherches futures. Tout d'abord, les modèles proposés sont basés sur des preuves empiriques provenant d'un seul secteur, l'industrie automobile. Par conséquent, des études de cas supplémentaires dans le secteur automobile (dans les pays développés et en développement) doivent être examinées pour valider et améliorer les cadres proposés. D'autres études de cas permettront de généraliser nos modèles tout en capturant et en dévoilant tout élément supplémentaire de l'industrie automobile. La deuxième limite que nous souhaitons aborder concerne la collecte des données. En raison de plusieurs contraintes, il n'a été possible d'obtenir des données que de 27 experts. Ainsi, les résultats ne sont pas aussi robustes que ceux d'un grand panel. Et le fait de tirer des conclusions à partir des données fournies par seulement 27 experts entraîne une validité plus faible des résultats. Néanmoins, les modèles révélés sont également très convaincants et logiques.

Ensuite, les données ont été collectées auprès d'une seule entreprise de la SC automobile. En raison de la courte durée du projet, il n'a pas été possible de prendre en compte l'ensemble de la SC. Dans des études de cas similaires, les chercheurs ont étudié les relations entre les opérations de la SC en interrogeant des professionnels de différentes entreprises. Cela confère une plus grande robustesse aux résultats et permet d'étudier le phénomène de manière plus approfondie.

Ensuite, les données ont été collectées uniquement sur une section très particulière de la SC automobile (système de gestion d'entrepôt), de sorte que les résultats ne peuvent pas être généralisés à tout environnement de fabrication ou à l'ensemble des champs de la SC. Ils peuvent être généralisés à l'industrie automobile dans une large mesure. Les recherches futures doivent comporter un échantillon de différents types d'industries et de champs de la SC afin de tirer des résultats plus larges et généralisés. L'une des principales exigences d'une étude de cas est l'exploration des explications rivales possibles (Yin et al., 2022). Dans cette étude, cette activité a été faite dans une mesure très limitée et c'est également une autre faiblesse qui peut être identifiée.

En dépit des avantages de la TD dans la durabilité des SCs, l'adoption de la TD dans la SCAD posera certaines difficultés aux praticiens. Les problèmes qui doivent être résolus sont les suivants :

- Un environnement réglementaire ambigu : Les contrats intelligents peuvent digitaliser les douanes d'origine et de destination, mais d'autres entités subordonnées devraient également être en mesure d'aider les objectifs de l'équipementier. Comme toutes les activités ne sont pas sous l'autorité des équipementiers, l'intégration de tous les pôles de la supply chain est un défi.
- Un manque de sensibilisation et des difficultés de transition : Les professionnels du secteur automobile ne sont pas très au courant de la TD et de ses capacités. Même s'il sera difficile pour eux de s'adapter au nouvel environnement, il sera essentiel d'inspirer et d'enseigner la TD aux employés une fois que les technologies d'informations de communications (TIC) sans fil aura été activée dans toute l'entreprise.

- Des problèmes d'interopérabilité : il sera difficile de relier toutes les informations concernant les installations de production, les opérations de gestion d'inventaire, les marchandises et la logistique.
- Le coût d'installation de la TD : Il s'agira d'une dépense ponctuelle, car ces technologies doivent être entretenues régulièrement. Les praticiens peuvent rencontrer des difficultés pour évaluer les opérations de la supply chain car les solutions de la TD emergente en sont encore à leurs débuts.

Perspectives envisagées

La mise en œuvre de la transformation digitale entraîne également des changements dans les processus organisationnels qui peuvent poser de nouveaux risques pour le management durable de la SC. Ces risques n'ont pas été explorés dans cette thèse. Ils affecteront également la performance de la durabilité de la SC et pourront être explorés dans d'autres études à l'avenir. L'accent sur les technologies globales qui comprennent la transformation digitale n'a pas été fait dans cette thèse. Les technologies telles que le Blockchain, les systèmes cyber-physique (SCP) et l'analyse du Big Data peuvent être considérées séparément et étudiées afin de déterminer la contribution de chaque technologie. Une cartographie peut être obtenue pour le type de technologies et de quelles manières elles affectent la performance de durabilité du management de la SC. Ce cadre sera également utile aux managers.

En dépit des avantages liés à la transformation digitale pour les SCs, les entreprises restent sceptiques quant à l'adoption de technologies digitales dans les opérations de la SCs, en raison de l'appréciation limitée par les consommateurs des mérites des technologies de la TD, et de la complexité technique et du coût de mise en œuvre élevés (Kumar et al., 2020). Les études futures étendront notre attention de la SC automobile au secteur agricole en termes d'efficacité et de durabilité du système, en particulier concernant les ressources naturelles et commerciales limitées telles que l'eau. En outre, les obstacles à la mise en œuvre de l'IA et de l'IdO par les préoccupations relatives à la confidentialité des données identifiées dans cette étude motiveront de nouvelles idées de recherche pour la mise en œuvre de ces technologies en termes de propriété des données, ce qui permettra d'explorer davantage le compromis entre les pertes d'informations et la protection de la vie privée, en l'occurrence, l'implémentation de la technologie de la cyber-sécurité.

À la lumière des résultats de cette étude, nous souhaitons mettre en évidence quelques sujets généraux qui appellent des recherches supplémentaires :
- Pour un écosystème de la SCD plus fort, la traçabilité, la transparence et la visibilité de la supply chain sont explorées ici. Il sera intriguant d'en apprendre davantage sur les facteurs susmentionnés d'un point de vue financier, comme les coûts avant et après l'utilisation de la TD. Il sera fascinant de suivre le cadre du retour sur investissement (RSI) dans le contexte de la SCD.
- Il serait utile de déterminer quelle organisme ou partie prenante utilise le plus ces cadre pour attiendre une SCD une fois qu'il a été mis en œuvre.
- La recherche doit démontrer les avantages synergiques de la TD et de la prise de décision basée sur les données pour la consommation et la production de ressources.

- Le suivi de la SCD étant difficile, les chercheurs doivent se concentrer sur le type convenable de technologie qui peut être appliqué à chaque étape pour collecter efficacement toutes les caractéristiques.
- Outre la gestion durable de l'entrepot, la recherche doit se concentrer sur les conséquences durables de la TD sur le reste des operations de la supply chain.

Enfin, une étude future peut être faite sur le test des modèles développés en utilisant des données d'autres secteurs manufacturiers. Une modélisation mathématique peut également être réalisée pour estimer l'impact de chaque outil de la TD sur la durabilité de la SC. L'étude peut également être étendue pour voir l'effet de modération des pressions institutionnelles sur l'effet de la transformation digitale et la durabilité de la SC. La théorie du traitement de l'information organisationnelle peut également être appliquée pour étudier l'effet de la transformation digitale sur la durabilité de la SC. Les méthodologies et la littérature utilisées dans cette thèse sont entièrement documentées dans ce rapport et cela aidera à la reproduction.

Références bibliographiques

Aamer, A.M., Al-Awlaqi, M.A., Affia, I., Arumsari, S., Mandahawi, N., 2021. The internet of things in the food supply chain: adoption challenges. Benchmarking Int. J. 28, 2521–2541. https://doi.org/10.1108/BIJ-07-2020-0371

Abdel-Basset, M., Imran, M., 2020. Special Issue on Industrial Internet of Things for Automotive Industry – New directions, challenges and applications. Mech. Syst. Signal Process. 142, 106751. https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2020.106751

Abdel-Basset, M., Manogaran, G., Mohamed, M., 2018. RETRACTED: Internet of Things (IoT) and its impact on supply chain: A framework for building smart, secure and efficient systems. Future Gener. Comput. Syst. 86, 614–628. https://doi.org/10.1016/j.future.2018.04.051

Abdelouahid, R.A., Debauche, O., Marzak, A., 2021. Internet of Things: a new Interoperable IoT Platform. Application to a Smart Building. Procedia Comput. Sci., The 18th International Conference on Mobile Systems and Pervasive Computing (MobiSPC), The 16th International Conference on Future Networks and Communications (FNC), The 11th International Conference on Sustainable Energy Information Technology 191, 511–517. https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.07.066

Abdul-Hamid, A.-Q., Ali, M.H., Tseng, M.-L., Lan, S., Kumar, M., 2020. Impeding challenges on industry 4.0 in circular economy: Palm oil industry in Malaysia. Comput. Oper. Res. 123, 105052. https://doi.org/10.1016/j.cor.2020.105052

Abideen, A.Z., Pyeman, J., Sundram, V.P.K., Tseng, M.-L., Sorooshian, S., 2021. Leveraging Capabilities of Technology into a Circular Supply Chain to Build Circular Business Models: A State-of-the-Art Systematic Review. Sustainability 13, 8997. https://doi.org/10.3390/su13168997

Accorsi, R., Manzini, R., Maranesi, F., 2014. A decision-support system for the design and management of warehousing systems. Comput. Ind. 65, 175–186. https://doi.org/10.1016/j.compind.2013.08.007

Acerbi, F., Forterre, D.A., Taisch, M., 2021. Role of Artificial Intelligence in Circular Manufacturing: A Systematic Literature Review. IFAC-Pap., 17th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing INCOM 2021 54, 367–372. https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2021.08.040

Adat, V., Gupta, B.B., 2018. Security in Internet of Things: issues, challenges, taxonomy, and architecture. Telecommun. Syst. 67, 423–441. https://doi.org/10.1007/s11235-017-0345-9

Adel, A., 2022. Future of industry 5.0 in society: human-centric solutions, challenges and prospective research areas. J. Cloud Comput. 11, 40. https://doi.org/10.1186/s13677-022-00314-5

Adi, E., Anwar, A., Baig, Z., Zeadally, S., 2020. Machine learning and data analytics for the IoT. Neural Comput. Appl. 32, 16205–16233. https://doi.org/10.1007/s00521-020-04874-y

Agrawal, R., Majumdar, A., Majumdar, K., Raut, R.D., Narkhede, B.E., 2022. Attaining sustainable development goals (SDGs) through supply chain practices and business strategies: A systematic review with bibliometric and network analyses. Bus. Strategy Environ. 31, 3669–3687. https://doi.org/10.1002/bse.3057

Ahmad, R., Hasan, H., Yaqoob, I., Salah, K., Jayaraman, R., Omar, M., 2020. Blockchain for Aerospace and Defense: Opportunities and Open Research Challenges. Comput. Ind. Eng. 151. https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106982

Ahoa, E., Kassahun, A., Tekinerdogan, B., 2020. Business processes and information systems in the Ghana cocoa supply chain: A survey study. NJAS - Wagening. J. Life Sci. 92, 100323. https://doi.org/10.1016/j.njas.2020.100323

Aich, S., Chakraborty, S., Sain, M., Lee, H., Kim, H.-C., 2019. A Review on Benefits of IoT Integrated Blockchain based Supply Chain Management Implementations across Different Sectors with Case Study, in: 2019 21st International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT). Presented at the 2019 21st International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT), pp. 138–141. https://doi.org/10.23919/ICACT.2019.8701910

Alamerew, Y.A., Brissaud, D., 2020. Modelling reverse supply chain through system dynamics for realizing the transition towards the circular economy: A case study on electric vehicle batteries. J. Clean. Prod. 254, 120025. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120025

Alefari, M., Salonitis, K., Xu, Y., 2017. The Role of Leadership in Implementing Lean Manufacturing. Procedia CIRP, Manufacturing Systems 4.0 – Proceedings of the 50th CIRP Conference on Manufacturing Systems 63, 756–761. https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.03.169

Ali, A., Haseeb, M., 2019. Radio frequency identification (RFID) technology as a strategic tool towards higher performance of supply chain operations in textile and apparel industry of Malaysia. Uncertain Supply Chain Manag. 7, 215–226.

Ali, S.S., Kaur, R., 2021. Effectiveness of corporate social responsibility (CSR) in implementation of social sustainability in warehousing of developing countries: A hybrid approach. J. Clean. Prod. 324, 129154. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129154

Ali, Y., Saad, T.B., Rehman, O. ur, 2020. Integration of IoT technologies in construction supply chain networks; CPEC a case in point. Sustain. Oper. Comput. 1, 28–34. https://doi.org/10.1016/j.susoc.2020.12.003

Alinaghian, M., Tirkolaee, E.B., Dezaki, Z.K., Hejazi, S.R., Ding, W., 2021. An augmented Tabu search algorithm for the green inventory-routing problem with time windows. Swarm Evol. Comput. 60, 100802. https://doi.org/10.1016/j.swevo.2020.100802

Alkhuzaim, L., Zhu, Q., Sarkis, J., 2021. Evaluating Emergy Analysis at the Nexus of Circular Economy and Sustainable Supply Chain Management. Sustain. Prod. Consum. 25, 413–424. https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.11.022

Alkinani, M.H., Almazroi, A.A., Adhikari, M., Menon, V.G., 2022. Design and analysis of logistic agent-based swarm-neural network for intelligent transportation system. Alex. Eng. J. 61, 8325–8334. https://doi.org/10.1016/j.aej.2022.01.046

Allam, Z., Dhunny, Z.A., 2019. On big data, artificial intelligence and smart cities. Cities 89, 80–91. https://doi.org/10.1016/j.cities.2019.01.032

Allaoui, H., Guo, Y., Sarkis, J., 2019. Decision support for collaboration planning in sustainable supply chains. J. Clean. Prod. 229, 761–774. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.367

Almada-Lobo, F., 2015. The Industry 4.0 revolution and the future of Manufacturing Execution Systems (MES). J. Innov. Manag. 3, 16–21. https://doi.org/10.24840/2183-0606_003.004_0003

Almakhour, M., Sliman, L., Samhat, A.E., Mellouk, A., 2020. Verification of smart contracts: A survey. Pervasive Mob. Comput. 67, 101227. https://doi.org/10.1016/j.pmcj.2020.101227

Almasoud, A.S., Hussain, F.K., Hussain, O.K., 2020. Smart contracts for blockchain-based reputation systems: A systematic literature review. J. Netw. Comput. Appl. 170, 102814. https://doi.org/10.1016/j.jnca.2020.102814

AL-Salman, H.I., Salih, M.H., 2019. A review Cyber of Industry 4.0 (Cyber-Physical Systems (CPS), the Internet of Things (IoT) and the Internet of Services (IoS)): Components, and Security Challenges. J. Phys. Conf. Ser. 1424, 012029. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1424/1/012029

Al-Talib, M., Melhem, W.Y., Anosike, A.I., Garza Reyes, J.A., Nadeem, S.P., kumar, A., 2020. Achieving resilience in the supply chain by applying IoT technology. Procedia CIRP, Enhancing design through the 4th Industrial Revolution Thinking 91, 752–757. https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.02.231

Alwadi, A., Kilby, J., Gawanmeh, A., 2017. Tracking and automating a library system using radio frequency identification technology. Int. J. Smart Sens. Intell. Syst. 10, 425–450. https://doi.org/10.21307/ijssis-2017-219

Amato, F., Basile, F., Carbone, C., Chiacchio, P., 2005. An approach to control automated warehouse systems. Control Eng. Pract. 13, 1223–1241. https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2004.10.017

Amejwal, M., El Jaouhari, A., Arif, J., Fellaki, S., Jawab, F., 2022. Production Flow Management Based on Industry 4.0 Technologies, in: 2022 14th International Colloquium of Logistics and Supply Chain Management (LOGISTIQUA). Presented at the 2022 14th International Colloquium of Logistics and Supply Chain Management (LOGISTIQUA), pp. 1–7. https://doi.org/10.1109/LOGISTIQUA55056.2022.9938064

Ancín, M., Pindado, E., Sánchez, M., 2022. New trends in the global digital transformation process of the agri-food sector: An exploratory study based on Twitter. Agric. Syst. 203, 103520. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2022.103520

Andrés-López, E., González-Requena, I., Sanz-Lobera, A., 2015. Lean Service: Reassessment of Lean Manufacturing for Service Activities. Procedia Eng., MESIC Manufacturing Engineering Society International Conference 2015. 132, 23–30. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.12.463

Anitha, K., Palaksha Reddy, K., Krishnamoorthy, N., Jaiswal, S., 2021. IoT's in enabling the supply chain visibility and connectivity and optimization of performance. Mater. Today Proc. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.343

Antony, J., Psomas, E., Garza-Reyes, J.A., Hines, P., 2021. Practical implications and future research agenda of lean manufacturing: a systematic literature review. Prod. Plan. Control 32, 889–925. https://doi.org/10.1080/09537287.2020.1776410

Arif, J., Jawab, F., MOUZOUNA, Y., 2020a. Design on Improvement of Traceability Process in the Outsourcing of Logistics' Activities Using the Internet of Things (IoT) Applications. Maejo Int. J. Sci. Technol. 29, 1093–1108.

Arif, J., Jawab, F., MOUZOUNA, Y., 2020b. Design on Improvement of Traceability Process in the Outsourcing of Logistics' Activities Using the Internet of Things (IoT) Applications. Maejo Int. J. Sci. Technol. 29, 1093–1108.

Arif, J., Jawab, F., MOUZOUNA, Y., 2020c. Design on Improvement of Traceability Process in the Outsourcing of Logistics' Activities Using the Internet of Things (IoT) Applications. Maejo Int. J. Sci. Technol. 29, 1093–1108.

Arif, J., Mouzouna, Y., Jawab, F., 2019a. The Use of Internet of Things (IoT) Applications in the Logistics Outsourcing: Smart RFID Tag as an Example.

Arif, J., Mouzouna, Y., Jawab, F., 2019b. The Use of Internet of Things (IoT) Applications in the Logistics Outsourcing: Smart RFID Tag as an Example.

Arif, J., Mouzouna, Y., Jawab, F., 2019c. The Use of Internet of Things (IoT) Applications in the Logistics Outsourcing: Smart RFID Tag as an Example.

Arslan, M., Şar, S., 2018. Examination of environmentally friendly "green" logistics behavior of managers in the pharmaceutical sector using the Theory of Planned Behavior. Res. Soc. Adm. Pharm. 14, 1007–1014. https://doi.org/10.1016/j.sapharm.2017.12.002

Arunmozhi, M., Venkatesh, V.G., Arisian, S., Shi, Y., Raja Sreedharan, V., 2022. Application of blockchain and smart contracts in autonomous vehicle supply chains: An experimental design. Transp. Res. Part E Logist. Transp. Rev. 165, 102864. https://doi.org/10.1016/j.tre.2022.102864

A.S., B., Ramanathan, U., 2021. The role of digital technologies in supply chain resilience for emerging markets' automotive sector. Supply Chain Manag. Int. J. 26, 654–671. https://doi.org/10.1108/SCM-07-2020-0342

Asghari, M., Nassiri, P., Monazzam, M.R., Golbabaei, F., Arabalibeik, H., Shamsipour, A., Allahverdy, A., 2017. Weighting Criteria and Prioritizing of Heat stress indices in surface mining using a Delphi Technique and Fuzzy AHP-TOPSIS Method. J. Environ. Health Sci. Eng. 15, 1. https://doi.org/10.1186/s40201-016-0264-9

Ashima, R., Haleem, A., Bahl, S., Javaid, M., Kumar Mahla, S., Singh, S., 2021. Automation and manufacturing of smart materials in additive manufacturing technologies using Internet of Things towards the adoption of industry 4.0. Mater. Today Proc., Second International Conference on Aspects of Materials Science and Engineering (ICAMSE 2021) 45, 5081–5088. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.01.583

Ashjaei, M., Lo Bello, L., Daneshtalab, M., Patti, G., Saponara, S., Mubeen, S., 2021. Time-Sensitive Networking in automotive embedded systems: State of the art and research opportunities. J. Syst. Archit. 117, 102137. https://doi.org/10.1016/j.sysarc.2021.102137

Atabaki, M.S., Mohammadi, M., Naderi, B., 2020. New robust optimization models for closed-loop supply chain of durable products: Towards a circular economy. Comput. Ind. Eng. 146, 106520. https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106520

Atanassov, K.T., 1994. New operations defined over the intuitionistic fuzzy sets. Fuzzy Sets Syst. 61, 137–142. https://doi.org/10.1016/0165-0114(94)90229-1

Atanassov, K.T., 1986. Intuitionistic fuzzy sets. Fuzzy Sets Syst. 20, 87–96. https://doi.org/10.1016/S0165-0114(86)80034-3

Atzori, L., Iera, A., Morabito, G., 2010. The Internet of Things: A survey. Comput. Netw. 54, 2787–2805. https://doi.org/10.1016/j.comnet.2010.05.010

Azzi, A., Battini, D., Faccio, M., Persona, A., Sgarbossa, F., 2014. Inventory holding costs measurement: a multi-case study. Int. J. Logist. Manag. 25, 109–132. https://doi.org/10.1108/IJLM-01-2012-0004

Azzouz, K., Arif, J., Benboubker, M.B., 2021a. Exploratory Study of the Role of Logistics Service Providers in Terms of Traceability in the Process of Outsourcing of Logistics' Activities: Case of Moroccan LSP. Int. J. Eng. Res. Afr. 54, 187–208. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/JERA.54.187

Azzouz, K., Arif, J., Benboubker, M.B., 2021b. Exploratory Study of the Role of Logistics Service Providers in Terms of Traceability in the Process of Outsourcing of Logistics' Activities: Case of Moroccan LSP. Int. J. Eng. Res. Afr. 54, 187–208. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/JERA.54.187

Bag, S., Dhamija, P., Bryde, D.J., Singh, R.K., 2022. Effect of eco-innovation on green supply chain management, circular economy capability, and performance of small and medium enterprises. J. Bus. Res. 141, 60–72. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.12.011

Bag, S., Pretorius, J.H.C., Gupta, S., Dwivedi, Y.K., 2021. Role of institutional pressures and resources in the adoption of big data analytics powered artificial intelligence, sustainable manufacturing practices and circular economy capabilities. Technol. Forecast. Soc. Change 163, 120420. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120420

Bai, C., Dallasega, P., Orzes, G., Sarkis, J., 2020. Industry 4.0 technologies assessment: A sustainability perspective. Int. J. Prod. Econ. 229, 107776. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107776

Bai, C., Orzes, G., Sarkis, J., 2022. Exploring the impact of Industry 4.0 technologies on social sustainability through a circular economy approach. Ind. Mark. Manag. 101, 176–190. https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2021.12.004

Balakrishna, S., Thirumaran, M., 2018. Semantic Interoperable Traffic Management Framework for IoT Smart City Applications. EAI Endorsed Trans. Internet Things 4. https://doi.org/10.4108/eai.11-9-2018.155482

Balal, E., Cheu, R.L., Sarkodie-Gyan, T., 2016. A binary decision model for discretionary lane changing move based on fuzzy inference system. Transp. Res. Part C Emerg. Technol. 67, 47–61. https://doi.org/10.1016/j.trc.2016.02.009

Banerjee, A., 2019. Chapter Nine - Blockchain with IOT: Applications and use cases for a new paradigm of supply chain driving efficiency and cost, in: Kim, S., Deka, G.C., Zhang, P. (Eds.), Advances in Computers, Role of Blockchain Technology in IoT Applications. Elsevier, pp. 259–292. https://doi.org/10.1016/bs.adcom.2019.07.007

Baradaran, V., Akhavan, B., 2019. Determining number of withdrawal kanban using bi-level optimization and simulation approaches. Int. J. Ind. Eng. Theory Appl. Pract. 26, 156–172.

Barashev, I., 2016. Translating Semantic Networks to UML Class Diagrams. Procedia Comput. Sci., Knowledge-Based and Intelligent Information & Engineering Systems: Proceedings of the 20th International Conference KES-2016 96, 946–950. https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.08.085

Barreto, L., Amaral, A., Pereira, T., 2017. Industry 4.0 implications in logistics: an overview. Procedia Manuf., Manufacturing Engineering Society International Conference 2017, MESIC 2017, 28-30 June 2017, Vigo (Pontevedra), Spain 13, 1245–1252. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.045

Bartolini, M., Bottani, E., Grosse, E.H., 2019. Green warehousing: Systematic literature review and bibliometric analysis. J. Clean. Prod. 226, 242–258. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.055

Basile, F., Chiacchio, P., Di Marino, E., 2019. An auction-based approach to control automated warehouses using smart vehicles. Control Eng. Pract. 90, 285–300. https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2019.06.005

Bauwens, T., 2021. Are the circular economy and economic growth compatible? A case for post-growth circularity. Resour. Conserv. Recycl. 175, 105852. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105852

Becerra, P., Mula, J., Sanchis, R., 2021. Green supply chain quantitative models for sustainable inventory management: A review. J. Clean. Prod. 328, 129544. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129544

Beelaerts van Blokland, W.W.A., Fiksiński, M.A., Amoa, S.O.B., Santema, S.C., van Silfhout, G.-J., Maaskant, L., 2012. Measuring value-leverage in aerospace supply chains. Int. J. Oper. Prod. Manag. 32, 982–1007. https://doi.org/10.1108/01443571211253155

Belaud, J.-P., Prioux, N., Vialle, C., Sablayrolles, C., 2019. Big data for agri-food 4.0: Application to sustainability management for by-products supply chain. Comput. Ind. 111, 41–50. https://doi.org/10.1016/j.compind.2019.06.006

Belhadi, A., Kamble, S., Jabbour, C.J.C., Gunasekaran, A., Ndubisi, N.O., Venkatesh, M., 2021. Manufacturing and service supply chain resilience to the COVID-19 outbreak: Lessons learned from the automobile and airline industries. Technol. Forecast. Soc. Change 163, 120447. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120447

Belhadi, A., Kamble, S.S., Chiappetta Jabbour, C.J., Mani, V., Khan, S.A.R., Touriki, F.E., 2022. A self-assessment tool for evaluating the integration of circular economy and industry 4.0 principles in closed-loop supply chains. Int. J. Prod. Econ. 245, 108372. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2021.108372

Belton, I., MacDonald, A., Wright, G., Hamlin, I., 2019. Improving the practical application of the Delphi method in group-based judgment: A six-step prescription for a well-founded and defensible process. Technol. Forecast. Soc. Change 147, 72–82. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.07.002

Ben Othman, S., Zgaya, H., Dotoli, M., Hammadi, S., 2017. An agent-based Decision Support System for resources' scheduling in Emergency Supply Chains. Control Eng. Pract. 59, 27–43. https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2016.11.014

Benachenhou, K., Bencheikh, M.L., 2021. Detection of global positioning system spoofing using fusion of signal quality monitoring metrics. Comput. Electr. Eng. 92, 107159. https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2021.107159

Benhamaid, S., Bouabdallah, A., Lakhlef, H., 2022. Recent advances in energy management for Green-IoT: An up-to-date and comprehensive survey. J. Netw. Comput. Appl. 198, 103257. https://doi.org/10.1016/j.jnca.2021.103257

Benitez, G.B., 2021. Innovation ecosystems for industry 4.0 : a collaborative perspective for the provision of digital technologies and platforms.

Bennani, M., Jawab, F., Hani, Y., El Mhamedi, A., & Amegouz, D. (2022). Hybrid F-SWARA and F-ENTROPY for the optimization of the weighting of the location criteria of a green logistics platform. IFAC-PapersOnLine, 55(10), 1606-1612.

Benzidia, S., Makaoui, N., Bentahar, O., 2021. The impact of big data analytics and artificial intelligence on green supply chain process integration and hospital environmental performance. Technol. Forecast. Soc. Change 165, 120557. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120557

Bevilacqua, M., Ciarapica, F.E., Marcucci, G., 2019. Supply Chain Resilience research trends: a literature overview. IFAC-Pap., 9th IFAC Conference on Manufacturing Modelling, Management and Control MIM 2019 52, 2821–2826. https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.636

Bevilacqua, M., Ciarapica, F.E., Paciarotti, C., 2015. Implementing lean information management: The case study of an automotive company. Prod. Plan. Control 26, 753–768. https://doi.org/10.1080/09537287.2014.975167

Bhatia, M.S., Jakhar, S.K., 2021. The effect of environmental regulations, top management commitment, and organizational learning on green product innovation: Evidence from automobile industry. Bus. Strategy Environ. 30, 3907–3918. https://doi.org/10.1002/bse.2848

Bhattacharyya, M., Sana, S.S., 2019. A mathematical model on eco-friendly manufacturing system under probabilistic demand. RAIRO - Oper. Res. 53, 1899–1913. https://doi.org/10.1051/ro/2018120

Birkel, H.S., Hartmann, E., 2020. Internet of Things – the future of managing supply chain risks. Supply Chain Manag. Int. J. 25, 535–548. https://doi.org/10.1108/SCM-09-2019-0356

Bittencourt, V.L., Alves, A.C., Leão, C.P., 2021. Industry 4.0 triggered by Lean Thinking: insights from a systematic literature review. Int. J. Prod. Res. 59, 1496–1510. https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1832274

Blöchl, S.J., Michalicki, M., Schneider, M., 2017. Simulation Game for Lean Leadership – Shopfloor Management Combined with Accounting for Lean. Procedia Manuf. 9, 97–105. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.04.031

Bocaniala, C., Costa, J., 2006. Application of a novel fuzzy classifier to fault detection and isolation of the DAMADICS benchmark problem. Control Eng. Pract. 14, 653–669. https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2005.06.008

Boiko, A., Shendryk, V., Boiko, O., 2019. Information systems for supply chain management: uncertainties, risks and cyber security. Procedia Comput. Sci., ICTE in Transportation and Logistics 2018 (ICTE 2018) 149, 65–70. https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.01.108

Bonney, M., Jaber, M.Y., 2011. Environmentally responsible inventory models: Non-classical models for a non-classical era. Int. J. Prod. Econ., Leading Edge of Inventory Research 133, 43–53. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2009.10.033

Booch, G., 2015. My autobiography. IEEE Softw. 32, 13–15. https://doi.org/10.1109/MS.2015.109

Borgström, B., Hertz, S., 2011. Supply chain strategies: Changes in customer order-based production. J. Bus. Logist. 32, 361–373. https://doi.org/10.1111/j.0000-0000.2011.01031.x

Bouchery, Y., Ghaffari, A., Jemai, Z., Dallery, Y., 2012. Including sustainability criteria into inventory models. Eur. J. Oper. Res. 222, 229–240. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2012.05.004

Boufidis, N., Salanova Grau, J.M., Tzenos, P., Aifandopoulou, G., 2020. Estimating time of arrival of trains at level crossings for the provision of multimodal cooperative services. Transp. Res. Procedia, 22nd EURO Working Group on Transportation Meeting, EWGT 2019, 18th – 20th September 2019, Barcelona, Spain 47, 346–352. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.03.108

Brennan, J., Johnson, P., Olson, K., 2019. Technical Note: Method to Streamline Processing of Livestock Global Positioning System Collar Data. Rangel. Ecol. Manag. 72, 615–618. https://doi.org/10.1016/j.rama.2019.03.003

Bressanelli, G., Adrodegari, F., Perona, M., Saccani, N., 2018. The role of digital technologies to overcome Circular Economy challenges in PSS Business Models: an exploratory case study. Procedia CIRP, 10th CIRP Conference on Industrial Product-Service Systems, IPS2 2018, 29-31 May 2018, Linköping, Sweden 73, 216–221. https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.03.322

Bressanelli, G., Visintin, F., Saccani, N., 2022. Circular Economy and the evolution of industrial districts: a supply chain perspective. Int. J. Prod. Econ. 243, 108348. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2021.108348

Büchi, G., Cugno, M., Castagnoli, R., 2020. Smart factory performance and Industry 4.0. Technol. Forecast. Soc. Change 150, 119790. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.119790

Busert, T., Fay, A., 2019. Extended Value Stream Mapping Method for Information Based Improvement of Production Logistics Processes. IEEE Eng. Manag. Rev. 47, 119–127. https://doi.org/10.1109/EMR.2019.2934953

Büyüközkan, G., Kayakutlu, G., Karakadilar, I.S., 2015. Assessment of lean manufacturing effect on business performance using Bayesian Belief Networks. Expert Syst. Appl. 42, 6539–6551. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2015.04.016

Cabral, I., Grilo, A., Cruz-Machado, V., 2012. A decision-making model for Lean, Agile, Resilient and Green supply chain management. Int. J. Prod. Res. 50, 4830–4845. https://doi.org/10.1080/00207543.2012.657970

Caiado, R.G.G., Scavarda, L.F., Gavião, L.O., Ivson, P., Nascimento, D.L. de M., Garza-Reyes, J.A., 2021. A fuzzy rule-based industry 4.0 maturity model for operations and supply chain management. Int. J. Prod. Econ. 231, 107883. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107883

Calzavara, M., Glock, C.H., Grosse, E.H., Persona, A., Sgarbossa, F., 2017. Analysis of economic and ergonomic performance measures of different rack layouts in an order picking warehouse. Comput. Ind. Eng. 111, 527–536. https://doi.org/10.1016/j.cie.2016.07.001

Campos, E.A.R. de, Paula, I.C. de, Caten, C.S. ten, Maçada, A.C.G., Marôco, J., Ziegelmann, P.K., 2020. The effect of collaboration and IT competency on reverse logistics competency - Evidence from Brazilian supply chain executives. Environ. Impact Assess. Rev. 84, 106433. https://doi.org/10.1016/j.eiar.2020.106433

Caniëls, M.C.J., Gehrsitz, M.H., Semeijn, J., 2013. Participation of suppliers in greening supply chains: An empirical analysis of German automotive suppliers. J. Purch. Supply Manag., Special Issue Ipsera 2012 19, 134–143. https://doi.org/10.1016/j.pursup.2013.02.005

Cano, J.C., Berrios, V., Garcia, B., Toh, C.K., 2018. Evolution of IoT: An Industry Perspective. IEEE Internet Things Mag. 1, 12–17. https://doi.org/10.1109/IOTM.2019.1900002

Cantu-Ortiz, F.J., 2014. Advancing artificial intelligence research and dissemination through conference series: Benchmark, scientific impact and the MICAI experience. Expert Syst. Appl., Methods and Applications of Artificial and Computational Intelligence 41, 781–785. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2013.08.008

Carayannis, E.G., Del Giudice, M., Soto-Acosta, P., 2018. Disruptive technological change within knowledge-driven economies: The future of the Internet of Things (IoT). Technol. Forecast. Soc. Change 136, 265–267. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.09.001

Caridade, R., Pereira, T., Pinto Ferreira, L., Silva, F.J.G., 2017. Analysis and optimisation of a logistic warehouse in the automotive industry. Procedia Manuf., Manufacturing Engineering Society International Conference 2017, MESIC 2017, 28-30 June 2017, Vigo (Pontevedra), Spain 13, 1096–1103. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.170

Casper, R., Sundin, E., 2021. Electrification in the automotive industry: effects in remanufacturing. J. Remanufacturing 11, 121–136. https://doi.org/10.1007/s13243-020-00094-8

Centobelli, P., Cerchione, R., Esposito, E., Passaro, R., Shashi, 2021. Determinants of the transition towards circular economy in SMEs: A sustainable supply chain management perspective. Int. J. Prod. Econ. 242, 108297. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2021.108297

Chakrabarty, S., Wang, L., 2021. Sensitivity about inventory leanness. J. Manuf. Technol. Manag. 32, 376–399. https://doi.org/10.1108/JMTM-12-2019-0422

Chang, S.E., Chen, Y.-C., Lu, M.-F., 2019. Supply chain re-engineering using blockchain technology: A case of smart contract based tracking process. Technol. Forecast. Soc. Change 144, 1–11. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.03.015

Chauhan, C., Parida, V., Dhir, A., 2022. Linking circular economy and digitalisation technologies: A systematic literature review of past achievements and future promises. Technol. Forecast. Soc. Change 177, 121508. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121508

Chauhan, V., Patel, M., Tanwar, S., Tyagi, S., Kumar, N., 2020. IoT Enabled real-Time urban transport management system. Comput. Electr. Eng. 86, 106746. https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2020.106746

Chen, J., Gusikhin, O., Finkenstaedt, W., Liu, Y.-N., 2019. Maintenance, Repair, and Operations Parts Inventory Management in the Era of Industry 4.0. IFAC-Pap., 9th IFAC Conference on Manufacturing Modelling, Management and Control MIM 2019 52, 171–176. https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.171

Cherrafi, A., Elfezazi, S., Govindan, K., Garza-Reyes, J.A., Benhida, K., Mokhlis, A., 2017. A framework for the integration of Green and Lean Six Sigma for superior sustainability performance. Int. J. Prod. Res. 55, 4481–4515. https://doi.org/10.1080/00207543.2016.1266406

Chiappetta Jabbour, C.J., Fiorini, P.D.C., Ndubisi, N.O., Queiroz, M.M., Piato, É.L., 2020. Digitally-enabled sustainable supply chains in the 21st century: A review and a research agenda. Sci. Total Environ. 725, 138177. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138177

Chiarini, A., Belvedere, V., Grando, A., 2020. Industry 4.0 strategies and technological developments. An exploratory research from Italian manufacturing companies. Prod. Plan. Control 31, 1385–1398. https://doi.org/10.1080/09537287.2019.1710304

Ching, N.T., Ghobakhloo, M., Iranmanesh, M., Maroufkhani, P., Asadi, S., 2022. Industry 4.0 applications for sustainable manufacturing: A systematic literature review and a roadmap to sustainable development. J. Clean. Prod. 334, 130133. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.130133

Ciano, M.P., Dallasega, P., Orzes, G., Rossi, T., 2021. One-to-one relationships between Industry 4.0 technologies and Lean Production techniques: a multiple case study. Int. J. Prod. Res. 59, 1386–1410. https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1821119

Coenen, T.B.J., Haanstra, W., Jan Braaksma, A.J.J., Santos, J., 2020. CEIMA: A framework for identifying critical interfaces between the Circular Economy and stakeholders in the lifecycle of infrastructure assets. Resour. Conserv. Recycl. 155, 104552. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104552

Colorado, H.A., Velásquez, E.I.G., Monteiro, S.N., 2020. Sustainability of additive manufacturing: the circular economy of materials and environmental perspectives. J. Mater. Res. Technol. 9, 8221–8234. https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.04.062

Conforto, E.C., Amaral, D.C., 2016. Agile project management and stage-gate model—A hybrid framework for technology-based companies. J. Eng. Technol. Manag. 40, 1–14. https://doi.org/10.1016/j.jengtecman.2016.02.003

Corona, B., Shen, L., Reike, D., Rosales Carreón, J., Worrell, E., 2019. Towards sustainable development through the circular economy—A review and critical assessment on current circularity metrics. Resour. Conserv. Recycl. 151, 104498. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104498

Cui, L., Hertz, S., 2011. Networks and capabilities as characteristics of logistics firms. Ind. Mark. Manag., Business Networks: Global, Regional and Local The Best from IMP 2010 - Budapest 40, 1004–1011. https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2011.06.039

Cui, Y., Liu, W., Rani, P., Alrasheedi, M., 2021a. Internet of Things (IoT) adoption barriers for the circular economy using Pythagorean fuzzy SWARA-CoCoSo decision-making approach in the manufacturing sector. Technol. Forecast. Soc. Change 171, 120951. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120951

Cui, Y., Liu, W., Rani, P., Alrasheedi, M., 2021b. Internet of Things (IoT) adoption barriers for the circular economy using Pythagorean fuzzy SWARA-CoCoSo decision-making approach in the manufacturing sector. Technol. Forecast. Soc. Change 171, 120951. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120951

Culot, G., Fattori, F., Podrecca, M., Sartor, M., 2019. Addressing Industry 4.0 Cybersecurity Challenges. IEEE Eng. Manag. Rev. 47, 79–86. https://doi.org/10.1109/EMR.2019.2927559

Daeng Bani, F.C., Suharjito, Diana, Girsang, A.S., 2018. Implementation of Database Massively Parallel Processing System to Build Scalability on Process Data Warehouse. Procedia Comput. Sci., The 3rd International Conference on Computer Science and Computational Intelligence (ICCSCI 2018) : Empowering Smart Technology in Digital Era for a Better Life 135, 68–79. https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.08.151

Dalenogare, L.S., Benitez, G.B., Ayala, N.F., Frank, A.G., 2018. The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance. Int. J. Prod. Econ. 204, 383–394. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.08.019

Dallasega, P., 2018. Industry 4.0 fostering construction supply chain management: Lessons learned from engineer-to-order suppliers. IEEE Eng. Manag. Rev. 46, 49–55. https://doi.org/10.1109/EMR.2018.2861389

Dallasega, P., Rojas, R.A., Rauch, E., Matt, D.T., 2017. Simulation Based Validation of Supply Chain Effects through ICT enabled Real-time-capability in ETO Production Planning. Procedia Manuf. 11, 846–853. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.187

Darom, N.A., Hishamuddin, H., Ramli, R., Mat Nopiah, Z., 2018. An inventory model of supply chain disruption recovery with safety stock and carbon emission consideration. J. Clean. Prod. 197, 1011–1021. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.246

Datta, S.K., Haerri, J., Bonnet, C., Ferreira Da Costa, R., 2017. Vehicles as Connected Resources: Opportunities and Challenges for the Future. IEEE Veh. Technol. Mag. 12, 26–35. https://doi.org/10.1109/MVT.2017.2670859

De Giovanni, P., 2021. Digital Supply Chain Through IoT, Design Quality, and Circular Economy, in: De Giovanni, P. (Ed.), Dynamic Quality Models and Games in Digital Supply Chains: How Digital Transformation Impacts Supply Chain Quality Management. Springer International Publishing, Cham, pp. 57–89. https://doi.org/10.1007/978-3-030-66537-1_4

De Giovanni, P., Cariola, A., 2020. Process innovation through industry 4.0 technologies, lean practices and green supply chains. Res. Transp. Econ. 100869. https://doi.org/10.1016/j.retrec.2020.100869

Delic, M., Eyers, D.R., 2020. The effect of additive manufacturing adoption on supply chain flexibility and performance: An empirical analysis from the automotive industry. Int. J. Prod. Econ. 228, 107689. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107689

Demir, K.A., Döven, G., Sezen, B., 2019. Industry 5.0 and Human-Robot Co-working. Procedia Comput. Sci., 3rd WORLD CONFERENCE ON TECHNOLOGY, INNOVATION AND ENTREPRENEURSHIP"INDUSTRY 4.0 FOCUSED INNOVATION, TECHNOLOGY, ENTREPRENEURSHIP AND MANUFACTURE" June 21-23, 2019 158, 688–695. https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.09.104

Demirhan, M., Premachandra, C., 2020. Development of an Automated Camera-Based Drone Landing System. IEEE Access 8, 202111–202121. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3034948

Deng, Y., 2019. Integrating 4D BIM and GIS for Construction Supply Chain Management [WWW Document].

Denyer, D., Tranfield, D., 2009. Producing a systematic review, in: The Sage Handbook of Organizational Research Methods. Sage Publications Ltd, Thousand Oaks, CA, pp. 671–689.

Dev, N.K., Shankar, R., Qaiser, F.H., 2020. Industry 4.0 and circular economy: Operational excellence for sustainable reverse supply chain performance. Resour. Conserv. Recycl. 153, 104583. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104583

Digiesi, S., Mossa, G., Mummolo, G., 2013. SUPPLY LEAD TIME UNCERTAINTY IN A SUSTAINABLE ORDER QUANTITY INVENTORY MODEL. Manag. Prod. Eng. Rev. 4, 15–27. https://doi.org/10.2478/mper-2013-0034

Digiesi, S., Mossa, G., Rubino, S., 2014. A sustainable EOQ model for repairable spare parts under uncertain demand. IMA J. Manag. Math. 26. https://doi.org/10.1093/imaman/dpu004

Dohale, V.D., Akarte, M.M., Verma, P., 2019. Determining the Process Choice Criteria for Selecting a Production System in a Manufacturing Firm Using a Delphi Technique, in: 2019 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM). Presented at the 2019 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), pp. 1265–1269. https://doi.org/10.1109/IEEM44572.2019.8978820

Drath, R., Horch, A., 2014. Industrie 4.0: Hit or Hype? [Industry Forum]. IEEE Ind. Electron. Mag. 8, 56–58. https://doi.org/10.1109/MIE.2014.2312079

Duangsuwan, S., Takarn, A., Jamjareegulgarn, P., 2018. A Development on Air Pollution Detection Sensors based on NB-IoT Network for Smart Cities, in: 2018 18th International Symposium on Communications and Information Technologies (ISCIT). pp. 313–317. https://doi.org/10.1109/ISCIT.2018.8587978

Duarte, S., Cruz Machado, V., 2017. Green and lean implementation: an assessment in the automotive industry. Int. J. Lean Six Sigma 8, 65–88. https://doi.org/10.1108/IJLSS-11-2015-0041

Duarte, S., Cruz-Machado, V., 2019. Green and lean supply-chain transformation: a roadmap. Prod. Plan. Control 30, 1170–1183. https://doi.org/10.1080/09537287.2019.1595207

Dubey, A., Abhinav, K., Jain, S., Arora, V., Puttaveerana, A., 2020. HACO: A Framework for Developing Human-AI Teaming. https://doi.org/10.1145/3385032.3385044

Dubey, R., Bryde, D.J., Blome, C., Roubaud, D., Giannakis, M., 2021. Facilitating artificial intelligence powered supply chain analytics through alliance management during the pandemic crises in the B2B context. Ind. Mark. Manag. 96, 135–146. https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2021.05.003

Dubey, R., Gunasekaran, A., Childe, S.J., 2018. Big data analytics capability in supply chain agility: The moderating effect of organizational flexibility. Manag. Decis. 57, 2092–2112. https://doi.org/10.1108/MD-01-2018-0119

Durach, C.F., Kembro, J., Wieland, A., 2017. A New Paradigm for Systematic Literature Reviews in Supply Chain Management. J. Supply Chain Manag. 53, 67–85. https://doi.org/10.1111/jscm.12145

Ekren, B.Y., Mangla, S.K., Turhanlar, E.E., Kazancoglu, Y., Li, G., 2021. Lateral inventory share-based models for IoT-enabled E-commerce sustainable food supply networks. Comput. Oper. Res. 130, 105237. https://doi.org/10.1016/j.cor.2021.105237

El Jaouhari, A., Alhilali, Z., Arif, J., Fellaki, S., Amejwal, M., Azzouz, K., 2022a. Demand Forecasting Application with Regression and IoT Based Inventory Management System: A Case Study of a Semiconductor Manufacturing Company. Int. J. Eng. Res. Afr. 60, 189–210. https://doi.org/10.4028/p-8ntq24

El Jaouhari, A., Arif, J., Fellaki, S., Amejwal, M., Azzouz, K., 2022b. Lean supply chain management and Industry 4.0 interrelationships: the status quo and future perspectives. Int. J. Lean Six Sigma ahead-of-print. https://doi.org/10.1108/IJLSS-11-2021-0192

El Jaouhari, A., Arif, J., Samadhiya, A., Kumar, A., Jain, V., Agrawal, R., 2023a. Are metaverse applications in quality 4.0 enablers of manufacturing resiliency? An exploratory review under disruption impressions and future research. TQM J. ahead-of-print. https://doi.org/10.1108/TQM-06-2023-0181

El jaouhari, A., Arif, J., Samadhiya, A., Kumar, A., Trinkūnas, V., 2023. Are we there or do we have more to do? Metaverse in facility management and future prospects. Int. J. Strateg. Prop. Manag. 27, 159–175.

El Jaouhari, A., Azari, M., Arif, J., El Farouk, I.I., Jawab, F., Moufad, I., 2022c. IoT for the future of sustainable supply chain management in Industry 4.0: A Systematic Literature Review, in: 2022 14th International Colloquium of Logistics and Supply Chain Management (LOGISTIQUA). Presented at the 2022 14th International Colloquium of Logistics and Supply Chain Management (LOGISTIQUA), pp. 1–6. https://doi.org/10.1109/LOGISTIQUA55056.2022.9938123

El Jaouhari, A., El Bhilat, E.M., Arif, J., 2023b. Scrutinizing IoT applicability in green warehouse inventory management system based on Mamdani fuzzy inference system: a case study of an automotive semiconductors industrial firm. J. Ind. Prod. Eng. 40, 87–101. https://doi.org/10.1080/21681015.2022.2142303

El Mokaddem, Y., Jawab, F., & Saad, L. E. (2019, June). Intelligent transportations systems: review of current challenges and success factors: the case of developing countries. In 2019 International Colloquium on Logistics and Supply Chain Management (LOGISTIQUA) (pp. 1-6). IEEE.

Emde, S., Zehtabian, S., 2019. Scheduling direct deliveries with time windows to minimise truck fleet size and customer waiting times. Int. J. Prod. Res. 57, 1315–1330. https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1470696

Fahmi, F., Nurmayadi, F., Siregar, B., Yazid, M., Susanto, E., 2019. Design of Hardware Module for the Vehicle Condition Monitoring System Based on the Internet of Things. IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. 648, 012039. https://doi.org/10.1088/1757-899X/648/1/012039

Fahmy, A.R., Becker, T., Jekle, M., 2020. 3D printing and additive manufacturing of cereal-based materials: Quality analysis of starch-based systems using a camera-based morphological approach. Innov. Food Sci. Emerg. Technol. 63, 102384. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102384

Fan, T., Tao, F., Deng, S., Li, S., 2015. Impact of RFID technology on supply chain decisions with inventory inaccuracies. Int. J. Prod. Econ. 159, 117–125. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.10.004

Fawcett, A.M., Jin, Y.H., Hofer, C., Waller, M.A., Brazhkin, V., 2016. Sweating the Assets: Asset Leanness and Financial Performance in the Motor Carrier Industry. J. Bus. Logist. 37, 43–58. https://doi.org/10.1111/jbl.12116

Fernando, Y., Tseng, M.-L., Wahyuni-Td, I.S., de Sousa Jabbour, A.B.L., Chiappetta Jabbour, C.J., Foropon, C., 2023. Cyber supply chain risk management and performance in industry 4.0 era:

information system security practices in Malaysia. J. Ind. Prod. Eng. 40, 102–116. https://doi.org/10.1080/21681015.2022.2116495

Ferrari, A.M., Volpi, L., Settembre-Blundo, D., García-Muiña, F.E., 2021. Dynamic life cycle assessment (LCA) integrating life cycle inventory (LCI) and Enterprise resource planning (ERP) in an industry 4.0 environment. J. Clean. Prod. 286, 125314. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125314

Ferreira, A., 2021. Regulating smart contracts: Legal revolution or simply evolution? Telecommun. Policy 45, 102081. https://doi.org/10.1016/j.telpol.2020.102081

Ferreira, L., Borenstein, D., 2011. Normative agent-based simulation for supply chain planning. JORS 62, 501–514. https://doi.org/10.1057/jors.2010.144

Fleisch, E., 2007. What is the Internet of Things? An Economic Perspective. http://www.alexandria.unisg.ch/Publikationen/68983 Auto-ID White Paper.

Florian, M., Kemper, J., Sihn, W., Hellingrath, B., 2011. Concept of transport-oriented scheduling for reduction of inbound logistics traffic in the automotive industries. CIRP J. Manuf. Sci. Technol., Production Networks Sustainability 4, 252–257. https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2011.01.004

Flynn, A., Hacking, N., 2019. Setting standards for a circular economy: A challenge too far for neoliberal environmental governance? J. Clean. Prod. 212, 1256–1267. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.257

Foth, T., Efstathiou, N., Vanderspank-Wright, B., Ufholz, L.-A., Dütthorn, N., Zimansky, M., Humphrey-Murto, S., 2016. The use of Delphi and Nominal Group Technique in nursing education: A review. Int. J. Nurs. Stud. 60, 112–120. https://doi.org/10.1016/j.ijnurstu.2016.04.015

Frank, A.G., Dalenogare, L.S., Ayala, N.F., 2019. Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. Int. J. Prod. Econ. 210, 15–26. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.01.004

Frank, R., 2013. Understanding Smart Sensors. Artech House.

Frazzon, E.M., Rodriguez, C.M.T., Pereira, M.M., Pires, M.C., Uhlmann, I., 2019. Towards Supply Chain Management 4.0. Braz. J. Oper. Prod. Manag. 16, 180–191. https://doi.org/10.14488/BJOPM.2019.v16.n2.a2

Galankashi, M.R., Helmi, S.A., Hisjam, M., Rahim, A.R.A., 2018. Leanness assessment in automotive industry: Case study approach. Int. J. Value Chain Manag. 9, 70–88. https://doi.org/10.1504/IJVCM.2018.091110

Gangidi, P., 2019. A systematic approach to root cause analysis using 3 × 5 why's technique. Int. J. Lean Six Sigma 10, 295–310. https://doi.org/10.1108/IJLSS-10-2017-0114

Gao, J., Xiao, Z., Wei, H., Zhou, G., 2018. Active or passive? Sustainable manufacturing in the direct-channel green supply chain: A perspective of two types of green product designs. Transp. Res. Part Transp. Environ. 65, 332–354. https://doi.org/10.1016/j.trd.2018.09.007

García-Muiña, F., Medina-Salgado, M.S., González-Sánchez, R., Huertas-Valdivia, I., Ferrari, A.M., Settembre-Blundo, D., 2021. Industry 4.0-based dynamic Social Organizational Life Cycle Assessment to target the social circular economy in manufacturing. J. Clean. Prod. 327, 129439. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129439

Garrido Azevedo, S., Carvalho, H., 2012. Contribution of RFID technology to better management of fashion supply chains. Int. J. Retail Distrib. Manag. 40, 128–156. https://doi.org/10.1108/09590551211201874

Garrido-Hidalgo, C., Ramirez, F.J., Olivares, T., Roda-Sanchez, L., 2020. The adoption of internet of things in a circular supply chain framework for the recovery of WEEE: the case of lithium-ion electric vehicle battery packs. Waste Manag. 103, 32–44. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.09.045

Gebhardt, M., Spieske, A., Birkel, H., 2022. The future of the circular economy and its effect on supply chain dependencies: Empirical evidence from a Delphi study. Transp. Res. Part E Logist. Transp. Rev. 157, 102570. https://doi.org/10.1016/j.tre.2021.102570

Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N.M.P., Hultink, E.J., 2017. The Circular Economy – A new sustainability paradigm? J. Clean. Prod. 143, 757–768. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048

Gellers, J.C., 2021. Sing C. Chew, Ecology, Artificial Intelligence, and Virtual Reality: Life in the Digital Dark Ages. Environ. Values 30, 789–791. https://doi.org/10.3197/096327121X16328186623823

Georgakarakou, C., Riskos, K., Tsourvakas, G., Yfantidou, I., 2020. What features of green products packaging are more eye catching? An eye-tracking exploratory study about organic agricultural products. Int. J. Technol. Mark. 14, 93–124. https://doi.org/10.1504/IJTMKT.2020.10030782

Gharajeh, M.S., Jond, H.B., 2020. Hybrid Global Positioning System-Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System based autonomous mobile robot navigation. Robot. Auton. Syst. 134, 103669. https://doi.org/10.1016/j.robot.2020.103669

Ghobakhloo, M., 2019. Industry 4.0, Digitization, and Opportunities for Sustainability. J. Clean. Prod. 252, 119869. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119869

Ghobakhloo, M., Fathi, M., 2019. Corporate survival in Industry 4.0 era: the enabling role of lean-digitized manufacturing. J. Manuf. Technol. Manag. 31, 1–30. https://doi.org/10.1108/JMTM-11-2018-0417

Ginters, E., Martin-Gutierrez, J., 2013. Low Cost Augmented Reality and RFID Application for Logistics Items Visualization. Procedia Comput. Sci. 26, 3–13. https://doi.org/10.1016/j.procs.2013.12.002

Goyal, S., 2020. Reducing Waste in Circular Economy, in: Hashmi, S., Choudhury, I.A. (Eds.), Encyclopedia of Renewable and Sustainable Materials. Elsevier, Oxford, pp. 467–473. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803581-8.11503-6

Grady Booch James Rumbaugh, I.J., 2002. The Unified Modeling Language Reference Manual (2nd Edition) by James Rumbaugh , Ivar Jacobson , Grady Booch B01_0256. Addison-Wesley Professional.

Grzybowska, K., Anna, Ł., 2017. Key competencies for Industry 4.0. https://doi.org/10.26480/icemi.01.2017.250.253

Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., Palaniswami, M., 2013. Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. Future Gener. Comput. Syst. 29, 1645–1660. https://doi.org/10.1016/j.future.2013.01.010

Gupta, H., Kumar, A., Wasan, P., 2021. Industry 4.0, cleaner production and circular economy: An integrative framework for evaluating ethical and sustainable business performance of manufacturing organizations. J. Clean. Prod. 295, 126253. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126253

Haddud, A., Khare, A., 2020. Digitalizing supply chains potential benefits and impact on lean operations. Int. J. Lean Six Sigma 11, 731–765. https://doi.org/10.1108/IJLSS-03-2019-0026

Haenlein, M., Kaplan, A., 2021. Artificial intelligence and robotics: Shaking up the business world and society at large. J. Bus. Res. 124, 405–407. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.10.042

Hahn, G.J., 2020a. Industry 4.0: a supply chain innovation perspective. Int. J. Prod. Res. 58, 1425–1441. https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1641642

Hahn, G.J., 2020b. Industry 4.0: a supply chain innovation perspective. Int. J. Prod. Res. 58, 1425–1441. https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1641642

Halili, Z., 2020. Identifying and ranking appropriate strategies for effective technology transfer in the automotive industry: Evidence from Iran. Technol. Soc. 62, 101264. https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2020.101264

Hamdy, W., Al-Awamry, A., Mostafa, N., 2022. Warehousing 4.0: A proposed system of using node-red for applying internet of things in warehousing. Sustain. Futur. 4, 100069. https://doi.org/10.1016/j.sftr.2022.100069

Hamidi, B., Lajqi, N., Hamidi, L., 2016. Modelling and Sensitive Analysis of the Impact on Telematics System in Vehicles. IFAC-Pap., 17th IFAC Conference on International Stability, Technology and Culture TECIS 2016 49, 232–236. https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.11.056

Hannola, L., Myller, E., Kortelainen, S., 2014. Characteristics of the Finnish transportation corridor for the Russian automotive industry. Int. J. Logist. Syst. Manag. 18, 559–571. https://doi.org/10.1504/IJLSM.2014.063985

Hansen, E.B., Bøgh, S., 2021. Artificial intelligence and internet of things in small and medium-sized enterprises: A survey. J. Manuf. Syst., Digital Twin towards Smart Manufacturing and Industry 4.0 58, 362–372. https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2020.08.009

Hariyani, D., Mishra, S., 2022. Organizational enablers for sustainable manufacturing and industrial ecology. Clean. Eng. Technol. 6, 100375. https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100375

Hasan, Md.R., Roy, T.C., Daryanto, Y., Wee, H.-M., 2021. Optimizing inventory level and technology investment under a carbon tax, cap-and-trade and strict carbon limit regulations. Sustain. Prod. Consum. 25, 604–621. https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.12.005

Hassini, E., Surti, C., Searcy, C., 2012. A literature review and a case study of sustainable supply chains with a focus on metrics. Int. J. Prod. Econ., Sustainable Development of Manufacturing and Services 140, 69–82. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2012.01.042

Hautiere, N., Tarel, J.-P., Aubert, D., 2010. Mitigation of Visibility Loss for Advanced Camera-Based Driver Assistance. IEEE Trans. Intell. Transp. Syst. 11, 474–484. https://doi.org/10.1109/TITS.2010.2046165

He, P., Li, K., Kumar, P.N.R., 2021. An enhanced branch-and-price algorithm for the integrated production and transportation scheduling problem. Int. J. Prod. Res. https://doi.org/10.1080/00207543.2021.1876941

Hessevik, A., 2022. Green shipping networks as drivers of decarbonization in offshore shipping companies. Marit. Transp. Res. 3, 100053. https://doi.org/10.1016/j.martra.2022.100053

Hiraoka, L.S., 2011. Reconfiguring supply chains for a global automotive industry. Int. J. Inf. Syst. Supply Chain Manag. 4, 1–17. https://doi.org/10.4018/jisscm.2011100101

Hoellthaler, G., Braunreuther, S., Reinhart, G., 2019. Requirements for a methodology for the assessment and selection of technologies of digitalization for lean production systems. Procedia CIRP, 12th CIRP Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering, 18-20 July 2018, Gulf of Naples, Italy 79, 198–203. https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.02.046

Hofmann, E., Sternberg, H., Chen, H., Pflaum, A., Prockl, G., 2019. Supply chain management and Industry 4.0: conducting research in the digital age. Int. J. Phys. Distrib. Logist. Manag. 49, 945–955. https://doi.org/10.1108/IJPDLM-11-2019-399

Hofstra, N., Petkova, B., Dullaert, W., Reniers, G., de Leeuw, S., 2018. Assessing and facilitating warehouse safety. Saf. Sci. 105, 134–148. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2018.02.010

Holey, E.A., Feeley, J.L., Dixon, J., Whittaker, V.J., 2007. An exploration of the use of simple statistics to measure consensus and stability in Delphi studies. BMC Med. Res. Methodol. 7, 52. https://doi.org/10.1186/1471-2288-7-52

Hopkins, J.L., 2021. An investigation into emerging industry 4.0 technologies as drivers of supply chain innovation in Australia. Comput. Ind. 125, 103323. https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103323

Hossain, M.S., Muhammad, G., 2016. Cloud-assisted Industrial Internet of Things (IIoT) – Enabled framework for health monitoring. Comput. Netw., Industrial Technologies and Applications for the Internet of Things 101, 192–202. https://doi.org/10.1016/j.comnet.2016.01.009

Hotrawaisaya, C., Pakvichai, V., Sriyakul, T., 2019. Lean production determinants and performance consequences of implementation of Industry 4.0 in Thailand: Evidence from manufacturing sector. Int. J. Supply Chain Manag. 8, 559–571.

Hristov, I., Appolloni, A., Chirico, A., 2022. The adoption of the key performance indicators to integrate sustainability in the business strategy: A novel five-dimensional framework. Bus. Strategy Environ. 31, 3216–3230. https://doi.org/10.1002/bse.3072

Hu, S., Shu, S., Bishop, J., Na, X., Stettler, M., 2022. Vehicle telematics data for urban freight environmental impact analysis. Transp. Res. Part Transp. Environ. 102, 103121. https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.103121

Huang, L., Zhen, L., Wang, J., Zhang, X., 2022. Blockchain implementation for circular supply chain management: Evaluating critical success factors. Ind. Mark. Manag. 102, 451–464. https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2022.02.009

Huin, S.F., Luong, L.H.S., Abhary, K., 2003. Knowledge-based tool for planning of enterprise resources in ASEAN SMEs. Robot. Comput.-Integr. Manuf. 19, 409–414. https://doi.org/10.1016/S0736-5845(02)00033-9

Hussain, F., Van Waveren, C.C., 2010. The implementation of TQM in the component supply chain in the South African motor industry. Int. J. Automot. Technol. Manag. 10, 400–413. https://doi.org/10.1504/IJATM.2010.035648

Ilgin, G., Noche, B., 2013. Concept development to control non-value added logistical costs in a primary aluminium casthouse by interfacing linear optimization and simulation. Logist. J. 2013. https://doi.org/10.2195/lj_Proc_ilgin_en_201310_01

Innocenti, S., Golin, M., 2022. Human capital investment and perceived automation risks: Evidence from 16 countries. J. Econ. Behav. Organ. 195, 27–41. https://doi.org/10.1016/j.jebo.2021.12.027

Ivanov, D., Dolgui, A., Sokolov, B., 2022. Cloud supply chain: Integrating Industry 4.0 and digital platforms in the "Supply Chain-as-a-Service." Transp. Res. Part E Logist. Transp. Rev. 160, 102676. https://doi.org/10.1016/j.tre.2022.102676

Iyengar, V., Bharathi, S.V., 2018. Bibliometric analysis of lean, agile, and leagile supply chains in automobile industry (1990 - 2017). Int. J. Inf. Syst. Supply Chain Manag. 11, 22–45. https://doi.org/10.4018/IJISSCM.2018070102

Jackson, K., Efthymiou, K., Borton, J., 2016. Digital Manufacturing and Flexible Assembly Technologies for Reconfigurable Aerospace Production Systems. Procedia CIRP, The Sixth International Conference on Changeable, Agile, Reconfigurable and Virtual Production (CARV2016) 52, 274–279. https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.07.054

Jain, D., Metri And, B.A., Aggarwal, V., 2011. Analytical modelling of multi stage convergent supply chain system under just-in-time. Int. J. Appl. Manag. Sci. 3, 210–225. https://doi.org/10.1504/IJAMS.2011.040234

Janecki, R., Krawiec, S., Sierpiński, G., 2010. Telematics and the transportation system's value. IFAC Proc. Vol., 2nd IFAC Symposium on Telematics Applications 43, 43–49. https://doi.org/10.3182/20101005-4-RO-2018.00017

Jaouhari, A.E., Fellaki, S., Amejwal, M., Arif, J., 2023. Industry 4.0 Implementation in Lean Supply Chain Management: a Systematic Literature Review. Stat. Optim. Inf. Comput. 11, 178–185. https://doi.org/10.19139/soic-2310-5070-1539

Jawab, F., Bouami, D., 2004. La démarche "supply chain management" enjeux et stratégies, cas du commerce électronique et de la grande distribution. Rev. Sci. Gest.

Jawab, F., Bouami, D., Tahon, C., 2001. La gestion partagée des approvisionnements, un outils déterminant pour l'optimisation de la supply chain.

Jawab, F., Talbi, A., Bouami, D., 2006. Le réapprovisionnement continu dans les réseaux industriels, vers une meilleure gestion des interfaces de la « supply chain ». Rev. Sci. Gest. 218, 123–137. https://doi.org/10.3917/rsg.218.0123

Jayaram, A., 2016. Lean six sigma approach for global supply chain management using industry 4.0 and IIoT, in: 2016 2nd International Conference on Contemporary Computing and Informatics (IC3I). pp. 89–94. https://doi.org/10.1109/IC3I.2016.7917940

Jede, A., Teuteberg, F., 2015. Integrating cloud computing in supply chain processes: A comprehensive literature review. J. Enterp. Inf. Manag. 28, 872–904. https://doi.org/10.1108/JEIM-08-2014-0085

Jermsittiparsert, K., Namdej, P., Sriyakul, T., 2019. Impact of quality management techniques and system effectiveness on the green supply chain management practices. Int. J. Supply Chain Manag. 8, 120–130.

Jiménez, E., Tejeda, A., Pérez, M., Blanco, J., Martínez, E., 2012. Applicability of lean production with VSM to the Rioja wine sector. Int. J. Prod. Res. 50, 1890–1904. https://doi.org/10.1080/00207543.2011.561370

Joseph, V., Chapman, B., 2009. Deploying QoS for Cisco IP and Next Generation Networks: The Definitive Guide. Morgan Kaufmann.

Kadarova, J., Demecko, M., 2016. New Approaches in Lean Management. Procedia Econ. Finance, 3rd GLOBAL CONFERENCE on BUSINESS, ECONOMICS, MANAGEMENT and TOURISM 39, 11–16. https://doi.org/10.1016/S2212-5671(16)30234-9

Kalaitzi, D., Matopoulos, A., Clegg, B., 2019. Managing resource dependencies in electric vehicle supply chains: a multi-tier case study. Supply Chain Manag. Int. J. 24, 256–270. https://doi.org/10.1108/SCM-03-2018-0116

Kamble, S.S., Belhadi, A., Gunasekaran, A., Ganapathy, L., Verma, S., 2021. A large multi-group decision-making technique for prioritizing the big data-driven circular economy practices in the automobile component manufacturing industry. Technol. Forecast. Soc. Change 165, 120567. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120567

Kandananond, K., 2014. A Roadmap to Green Supply Chain System through Enterprise Resource Planning (ERP) Implementation. Procedia Eng., 24th DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation, 2013 69, 377–382. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.03.002

Kannan, D., Khodaverdi, R., Olfat, L., Jafarian, A., Diabat, A., 2013. Integrated fuzzy multi criteria decision making method and multi-objective programming approach for supplier selection and order allocation in a green supply chain. J. Clean. Prod., Cleaner Production: initiatives and challenges for a sustainable world 47, 355–367. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.02.010

Karmakar, A., Dey, N., Baral, T., Chowdhury, M., Rehan, Md., 2019. Industrial Internet of Things: A Review, in: 2019 International Conference on Opto-Electronics and Applied Optics (Optronix). Presented at the 2019 International Conference on Opto-Electronics and Applied Optics (Optronix), pp. 1–6. https://doi.org/10.1109/OPTRONIX.2019.8862436

Karre, H., Hammer, M., Kleindienst, M., Ramsauer, C., 2017. Transition towards an Industry 4.0 State of the LeanLab at Graz University of Technology. Procedia Manuf. 9, 206–213. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.04.006

Katoch, R., 2021. IoT research in supply chain management and logistics: A bibliometric analysis using vosviewer software. Mater. Today Proc. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.08.272

Kaur, M., Singh, K., Singh, D., 2020. Assessing the synergy status of TQM and SCM initiatives in terms of business performance of the medium and large scale Indian manufacturing industry. Int. J. Qual. Reliab. Manag. 37, 243–278. https://doi.org/10.1108/IJQRM-07-2018-0192

Kaushik, V., Kumar, A., Gupta, H., Dixit, G., 2020. A hybrid decision model for supplier selection in Online Fashion Retail (OFR). Int. J. Logist. Res. Appl. 1–25. https://doi.org/10.1080/13675567.2020.1791810

Kayikci, Y., Kazancoglu, Y., Gozacan-Chase, N., Lafci, C., 2022. Analyzing the drivers of smart sustainable circular supply chain for sustainable development goals through stakeholder theory. Bus. Strategy Environ. https://doi.org/10.1002/bse.3087

Kazemi, N., Abdul-Rashid, S.H., Ghazilla, R.A.R., Shekarian, E., Zanoni, S., 2018. Economic order quantity models for items with imperfect quality and emission considerations. Int. J. Syst. Sci. Oper. Logist. 5, 99–115. https://doi.org/10.1080/23302674.2016.1240254

Keilhacker, M.L., Minner, S., 2017. Supply chain risk management for critical commodities: A system dynamics model for the case of the rare earth elements. Resour. Conserv. Recycl. 125, 349–362. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.05.004

Khalifa, A.A., Ibrahim, A.-J., Amhamed, A.I., El-Naas, M.H., 2022. Accelerating the Transition to a Circular Economy for Net-Zero Emissions by 2050: A Systematic Review. Sustainability 14, 11656. https://doi.org/10.3390/su141811656

Khan, I.S., Ahmad, M.O., Majava, J., 2021. Industry 4.0 and sustainable development: A systematic mapping of triple bottom line, Circular Economy and Sustainable Business Models perspectives. J. Clean. Prod. 297, 126655. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126655

Khan, S.A.R., Razzaq, A., Yu, Z., Miller, S., 2021. Industry 4.0 and circular economy practices: A new era business strategies for environmental sustainability. Bus. Strategy Environ. 30, 4001–4014. https://doi.org/10.1002/bse.2853

Kim, H., Jung, J., Paik, J., 2016. Fisheye lens camera based surveillance system for wide field of view monitoring. Optik 127, 5636–5646. https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2016.03.069

Kirk, R., 2015a. Cars of the future: the Internet of Things in the automotive industry. Netw. Secur. 2015, 16–18. https://doi.org/10.1016/S1353-4858(15)30081-7

Kirk, R., 2015b. Cars of the future: the Internet of Things in the automotive industry. Netw. Secur. 2015, 16–18. https://doi.org/10.1016/S1353-4858(15)30081-7

Knoll, D., Reinhart, G., Prüglmeier, M., 2019. Enabling value stream mapping for internal logistics using multidimensional process mining. Expert Syst. Appl. 124, 130–142. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2019.01.026

Ko, C.-N., Lee, C.-M., 2013. Short-term load forecasting using SVR (support vector regression)-based radial basis function neural network with dual extended Kalman filter. Energy 49, 413–422. https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.11.015

Kolahi, H., Jahangiri, M., Ghaem, H., Rostamabadi, A., Aghabeigi, M., Farhadi, P., Kamalinia, M., 2018. Evaluation of Respiratory Protection Program in Petrochemical Industries: Application of Analytic Hierarchy Process. Saf. Health Work 9, 95–100. https://doi.org/10.1016/j.shaw.2017.05.003

Korpela, K., Hallikas, J., Dahlberg, T., 2017. Digital Supply Chain Transformation toward Blockchain Integration.

Kosior, K. (Ed.), 2018. Digital Transformation in the Agri-Food Sector – Opportunities and Challenges. Rocz. Ann. https://doi.org/10.22004/ag.econ.293647

Kouaib, A., Mhiri, S., Jarboui, A., 2020. Board of directors' effectiveness and sustainable performance: The triple bottom line. J. High Technol. Manag. Res. 31, 100390. https://doi.org/10.1016/j.hitech.2020.100390

Kouhizadeh, M., Sarkis, J., Zhu, Q., 2019. At the Nexus of Blockchain Technology, the Circular Economy, and Product Deletion. Appl. Sci. 9, 1712. https://doi.org/10.3390/app9081712

Kouhizadeh, M., Zhu, Q., Sarkis, J., 2020. Blockchain and the circular economy: potential tensions and critical reflections from practice. Prod. Plan. Control 31, 950–966. https://doi.org/10.1080/09537287.2019.1695925

Kozik, N., 2020. Sustainable packaging as a tool for global sustainable development. SHS Web Conf. 74, 04012. https://doi.org/10.1051/shsconf/20207404012

Krasniqi, X., Hajrizi, E., 2016. Use of IoT Technology to Drive the Automotive Industry from Connected to Full Autonomous Vehicles. IFAC-Pap., 17th IFAC Conference on International Stability, Technology and Culture TECIS 2016 49, 269–274. https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.11.078

Ku, A.Y., 2018. Anticipating critical materials implications from the Internet of Things (IOT): Potential stress on future supply chains from emerging data storage technologies. Sustain. Mater. Technol. 15, 27–32. https://doi.org/10.1016/j.susmat.2017.10.001

Kumar, A., Choudhary, S., Garza-Reyes, J.A., Kumar, V., Rehman Khan, S.A., Mishra, N., 2021. Analysis of critical success factors for implementing Industry 4.0 integrated circular supply chain – moving towards sustainable operations. Prod. Plan. Control 0, 1–15. https://doi.org/10.1080/09537287.2021.1980905

Kumar, A., Shoghli, O., 2018. A Review of IoT Applications in Supply Chain Optimization of Construction Materials. ISARC Proc. 487–494.

Kumar, D., Rahman, Z., 2016. Buyer supplier relationship and supply chain sustainability: empirical study of Indian automobile industry. J. Clean. Prod. 131, 836–848. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.04.007

Kumar, N., Lee, S.C., 2022. Human-machine interface in smart factory: A systematic literature review. Technol. Forecast. Soc. Change 174, 121284. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.121284

Kumar, R., Kumar, V., Singh, S., 2016. Relationship establishment between lean manufacturing and supply chain characteristics to study the impact on organisational performance using SEM approach. Int. J. Value Chain Manag. 7, 352–367. https://doi.org/10.1504/IJVCM.2016.080435

Kumar, R., Singh, R.Kr., Dwivedi, Y.Kr., 2020. Application of industry 4.0 technologies in SMEs for ethical and sustainable operations: Analysis of challenges. J. Clean. Prod. 275, 124063. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124063

Kumar, R., Singh, S.P., Lamba, K., 2018. Sustainable robust layout using Big Data approach: A key towards industry 4.0. J. Clean. Prod. 204, 643–659. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.327

Kumar, R.B.R., Sharma, M.K., Agarwal, A., 2015. An experimental investigation of lean management in aviation Avoiding unforced errors for better supply chain. J. Manuf. Technol. Manag. 26, 231–260. https://doi.org/10.1108/JMTM-12-2013-0174

Kumar Sett, B., Sarkar, B., Goswami, A., 2012. A two-warehouse inventory model with increasing demand and time varying deterioration. Sci. Iran. 19, 1969–1977. https://doi.org/10.1016/j.scient.2012.10.040

Kusi-Sarpong, S., Sarkis, J., Wang, X., 2016. Green supply chain practices and performance in Ghana's mining industry: A comparative evaluation based on DEMATEL and AHP. Int. J. Bus. Perform. Supply Chain Model. 8, 320–347. https://doi.org/10.1504/IJBPSCM.2016.10002317

Lahane, S., Kant, R., 2022. Investigating the sustainable development goals derived due to adoption of circular economy practices. Waste Manag. 143, 1–14. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.02.016

Lampón, J.F., Lago-Peñas, S., González-Benito, J., 2015. International relocation and production geography in the European automobile components sector: The case of Spain. Int. J. Prod. Res. 53, 1409–1424. https://doi.org/10.1080/00207543.2014.942757

Laroui, M., Nour, B., Moungla, H., Cherif, M.A., Afifi, H., Guizani, M., 2021. Edge and fog computing for IoT: A survey on current research activities & future directions. Comput. Commun. 180, 210–231. https://doi.org/10.1016/j.comcom.2021.09.003

Le Tixerant, M., Le Guyader, D., Gourmelon, F., Queffelec, B., 2018. How can Automatic Identification System (AIS) data be used for maritime spatial planning? Ocean Coast. Manag., Maritime Spatial Planning, Ecosystem Approach and Supporting Information Systems (MapSIS 2017) 166, 18–30. https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2018.05.005

Lee, C.K.M., Ho, W., Ho, G.T.S., Lau, H.C.W., 2011. Design and development of logistics workflow systems for demand management with RFID. Expert Syst. Appl. 38, 5428–5437. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.10.012

Lee, J., Palekar, U.S., Qualls, W., 2011. Supply chain efficiency and security: Coordination for collaborative investment in technology. Eur. J. Oper. Res. 210, 568–578. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2010.10.015

Lee, T., Nam, H., 2017. A Study on Green Shipping in Major Countries: In the View of Shipyards, Shipping Companies, Ports, and Policies. Asian J. Shipp. Logist. 33, 253–262. https://doi.org/10.1016/j.ajsl.2017.12.009

Leo Kumar, S.P., 2017. State of The Art-Intense Review on Artificial Intelligence Systems Application in Process Planning and Manufacturing. Eng. Appl. Artif. Intell. 65, 294–329. https://doi.org/10.1016/j.engappai.2017.08.005

Levina, A.I., Dubgorn, A.S., Iliashenko, O.Yu., 2017. Internet of Things within the Service Architecture of Intelligent Transport Systems, in: 2017 European Conference on Electrical Engineering and Computer Science (EECS). Presented at the 2017 European Conference on Electrical Engineering and Computer Science (EECS), pp. 351–355. https://doi.org/10.1109/EECS.2017.72

Lezoche, M., Hernandez, J.E., Alemany Díaz, M. del M.E., Panetto, H., Kacprzyk, J., 2020. Agri-food 4.0: A survey of the supply chains and technologies for the future agriculture. Comput. Ind. 117, 103187. https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103187

Li, H.-H.J.K., Tan, K.H., Hida, A., 2011. Sustaining growth in electronic manufacturing sector: Lessons from Japanese mid-size EMS providers. Int. J. Prod. Res. 49, 5415–5430. https://doi.org/10.1080/00207543.2011.563897

Lim, M.K., Lai, M., Wang, C., Lee, S.Y., 2022. Circular economy to ensure production operational sustainability: A green-lean approach. Sustain. Prod. Consum. 30, 130–144. https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.12.001

Lin, Y.-J., Tan, C.-F., Huang, C.-Y., 2019. Integration of Logic Controller with IoT to Form a Manufacturing Edge Computing Environment: A Premise. Procedia Manuf., 25th International Conference on Production Research Manufacturing Innovation: Cyber Physical Manufacturing

August 9-14, 2019 | Chicago, Illinois (USA) 39, 398–405. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.383

Linke, B.S., Garcia, D.R., Kamath, A., Garretson, I.C., 2019. Data-driven Sustainability in Manufacturing: Selected Examples. Procedia Manuf., Sustainable Manufacturing for Global Circular Economy: Proceedings of the 16th Global Conference on Sustainable Manufacturing 33, 602–609. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.04.075

Lister, J., 2015. Green Shipping: Governing Sustainable Maritime Transport. Glob. Policy 6, 118–129. https://doi.org/10.1111/1758-5899.12180

Liu, S., Zhang, G., Wang, L., 2018. IoT-enabled Dynamic Optimisation for Sustainable Reverse Logistics. Procedia CIRP, 25th CIRP Life Cycle Engineering (LCE) Conference, 30 April – 2 May 2018, Copenhagen, Denmark 69, 662–667. https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.11.088

Liu, Y., Zhu, Q., Seuring, S., 2020. New technologies in operations and supply chains: Implications for sustainability. Int. J. Prod. Econ. 229, 107889. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107889

Liukkonen, M., 2015. RFID technology in manufacturing and supply chain. Int. J. Comput. Integr. Manuf. 28, 861–880. https://doi.org/10.1080/0951192X.2014.941406

Lopes de Sousa Jabbour, A.B., Rojas Luiz, J.V., Rojas Luiz, O., Jabbour, C.J.C., Ndubisi, N.O., Caldeira de Oliveira, J.H., Junior, F.H., 2019. Circular economy business models and operations management. J. Clean. Prod. 235, 1525–1539. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.349

Lopes Silva, D.A., de Oliveira, J.A., Padovezi Filleti, R.A., Gomes de Oliveira, J.F., Jannone da Silva, E., Ometto, A.R., 2018. Life Cycle Assessment in automotive sector: A case study for engine valves towards cleaner production. J. Clean. Prod. 184, 286–300. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.252

Lototsky, V., Sabitov, R., Smirnova, G., Sirazetdinov, B., Elizarova, N., Sabitov, Sh., 2019. Model of the Automated Warehouse Management and Forecasting System in the Conditions of Transition to Industry 4.0. IFAC-Pap., 9th IFAC Conference on Manufacturing Modelling, Management and Control MIM 2019 52, 78–82. https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.137

Lu, Y., Papagiannidis, S., Alamanos, E., 2018. Internet of Things: A systematic review of the business literature from the user and organisational perspectives. Technol. Forecast. Soc. Change 136, 285–297. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.01.022

Luthra, S., Garg, D., Haleem, A., 2016. The impacts of critical success factors for implementing green supply chain management towards sustainability: an empirical investigation of Indian automobile industry. J. Clean. Prod. 121, 142–158. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.01.095

Luthra, S., Mangla, S.K., 2018. Evaluating challenges to Industry 4.0 initiatives for supply chain sustainability in emerging economies. Process Saf. Environ. Prot. 117, 168–179. https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.04.018

Luthra, S., Mangla, S.K., Sarkis, J., Tseng, M.-L., 2022. Resources melioration and the circular economy: Sustainability potentials for mineral, mining and extraction sector in emerging economies. Resour. Policy 77, 102652. https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.102652

Lutz, É., Coradi, P.C., 2022. Applications of new technologies for monitoring and predicting grains quality stored: Sensors, Internet of Things, and Artificial Intelligence. Measurement 188, 110609. https://doi.org/10.1016/j.measurement.2021.110609

Lyu, Z., Lin, P., Guo, D., Huang, G.Q., 2020. Towards Zero-Warehousing Smart Manufacturing from Zero-Inventory Just-In-Time production. Robot. Comput.-Integr. Manuf. 64, 101932. https://doi.org/10.1016/j.rcim.2020.101932

M, K., M, S., Banakar, R.M., 2015. Evolution of IoT in smart vehicles: An overview, in: 2015 International Conference on Green Computing and Internet of Things (ICGCIoT). pp. 804–809. https://doi.org/10.1109/ICGCIoT.2015.7380573

Ma, J., Wang, Q., Zhao, Z., 2017. SLAE–CPS: Smart Lean Automation Engine Enabled by Cyber-Physical Systems Technologies. Sensors 17, 1500. https://doi.org/10.3390/s17071500

Ma, S., Ding, W., Liu, Y., Ren, S., Yang, H., 2022. Digital twin and big data-driven sustainable smart manufacturing based on information management systems for energy-intensive industries. Appl. Energy 326, 119986. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.119986

Machen, R.V., Sawyer, J.E., Bevers, S.J., Mathis, C.P., 2021. Measuring economic sustainability at the ranch level. Rangelands 43, 240–245. https://doi.org/10.1016/j.rala.2021.10.005

Mahroof, K., 2019. A human-centric perspective exploring the readiness towards smart warehousing: The case of a large retail distribution warehouse. Int. J. Inf. Manag. 45, 176–190. https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2018.11.008

Malik, P.K., Sharma, R., Singh, R., Gehlot, A., Satapathy, S.C., Alnumay, W.S., Pelusi, D., Ghosh, U., Nayak, J., 2021. Industrial Internet of Things and its Applications in Industry 4.0: State of The Art. Comput. Commun. 166, 125–139. https://doi.org/10.1016/j.comcom.2020.11.016

Mamdani, E.H., Assilian, S., 1975. An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. Int. J. Man-Mach. Stud. 7, 1–13. https://doi.org/10.1016/S0020-7373(75)80002-2

Manavalan, E., Jayakrishna, K., 2019a. A review of Internet of Things (IoT) embedded sustainable supply chain for industry 4.0 requirements. Comput. Ind. Eng. 127, 925–953. https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.11.030

Manavalan, E., Jayakrishna, K., 2019b. An Analysis on Sustainable Supply Chain for Circular Economy. Procedia Manuf., Sustainable Manufacturing for Global Circular Economy: Proceedings of the 16th Global Conference on Sustainable Manufacturing 33, 477–484. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.04.059

Marklund, J., Berling, P., 2017. Green Inventory Management. pp. 189–218. https://doi.org/10.1007/978-3-319-29791-0_8

Marodin, G.A., Frank, A.G., Tortorella, G.L., Saurin, T.A., 2016. Contextual factors and lean production implementation in the Brazilian automotive supply chain. Supply Chain Manag. 21, 417–432. https://doi.org/10.1108/SCM-05-2015-0170

Marodin, Giuliano Almeida, Frank, A.G., Tortorella, G.L., Saurin, T.A., 2016. Contextual factors and lean production implementation in the Brazilian automotive supply chain. Supply Chain Manag. Int. J. 21, 417–432. https://doi.org/10.1108/SCM-05-2015-0170

Martínez-López, F.J., Casillas, J., 2013. Artificial intelligence-based systems applied in industrial marketing: An historical overview, current and future insights. Ind. Mark. Manag., Special Issue on Applied Intelligent Systems in Business-to-Business Marketing 42, 489–495. https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2013.03.001

Mary Dayana, A., Sam Emmanuel, W.R., 2020. A Patch - Based Analysis for Retinal Lesion Segmentation with Deep Neural Networks, in: Pandian, A.P., Palanisamy, R., Ntalianis, K. (Eds.), Proceeding of the International Conference on Computer Networks, Big Data and IoT (ICCBI - 2019), Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies. Springer International Publishing, Cham, pp. 677–685. https://doi.org/10.1007/978-3-030-43192-1_75

mason-jones, R., TOWILLz, D., 2010. Lean, Agile or Leagile? Matching Your Supply Chain to the Marketplace. Int. J. Prod. Res. 38. https://doi.org/10.1080/00207540050204920

Massoudi, A.H., 2019. Adopting lean supply chain at Unipharma Syria to improve its response to clients. Int. J. Supply Chain Manag. 8, 10–19.

Mastinu, G.R.M., Cadini, F., Gobbi, M., 2019. Industry 4.0 and Automotive 4.0: Challenges and Opportunities for Designing New Vehicle Components for Automated and/or Electric Vehicles (SAE Technical Paper No. 2019- 01–0504). SAE International, Warrendale, PA. https://doi.org/10.4271/2019-01-0504

Mastos, T.D., Nizamis, A., Vafeiadis, T., Alexopoulos, N., Ntinas, C., Gkortzis, D., Papadopoulos, A., Ioannidis, D., Tzovaras, D., 2020a. Industry 4.0 sustainable supply chains: An application of an IoT enabled scrap metal management solution. J. Clean. Prod. 269, 122377. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122377

Mastos, T.D., Nizamis, A., Vafeiadis, T., Alexopoulos, N., Ntinas, C., Gkortzis, D., Papadopoulos, A., Ioannidis, D., Tzovaras, D., 2020b. Industry 4.0 sustainable supply chains: An application of an IoT enabled scrap metal management solution. J. Clean. Prod. 269, 122377. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122377

Mathivathanan, D., Kannan, D., Haq, A.N., 2018. Sustainable supply chain management practices in Indian automotive industry: A multi-stakeholder view. Resour. Conserv. Recycl. 128, 284–305. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.01.003

Mathupriya, S., Saira Banu, S., Sridhar, S., Arthi, B., 2020. Digital twin technology on IoT, industries & other smart environments: A survey. Mater. Today Proc. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.11.358

Mayr, A., Weigelt, M., Kühl, A., Grimm, S., Erll, A., Potzel, M., Franke, J., 2018. Lean 4.0 - A conceptual conjunction of lean management and Industry 4.0. Procedia CIRP, 51st CIRP Conference on Manufacturing Systems 72, 622–628. https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.03.292

Mehrsai, A., Thoben, K.-D., Scholz-Reiter, B., 2014. Bridging lean to agile production logistics using autonomous carriers in pull flow. Int. J. Prod. Res. 52, 4711–4730. https://doi.org/10.1080/00207543.2013.865851

Mekhum, W., 2020. Role of green supply chain management strategies in sustainability: Evidence form manufacturing industry of Thailand. Int. J. Supply Chain Manag. 9, 232–238.

Menon, V.G., Jacob, S., Joseph, S., Sehdev, P., Khosravi, M.R., Al-Turjman, F., 2022. An IoT-enabled intelligent automobile system for smart cities. Internet Things 18, 100213. https://doi.org/10.1016/j.iot.2020.100213

Meyers, S.D., Azevedo, L., Luther, M.E., 2021. A Scopus-based bibliometric study of maritime research involving the Automatic Identification System. Transp. Res. Interdiscip. Perspect. 10, 100387. https://doi.org/10.1016/j.trip.2021.100387

Milić, S.D., Miladinović, N.M., Rakić, A., 2020. A wayside hotbox system with fuzzy and fault detection algorithms in IIoT environment. Control Eng. Pract. 104, 104624. https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2020.104624

Min, H., 2015. The Essentials of Supply Chain Management: New Business Concepts and Applications. FT Press.

Minovski, R., Jovanoski, B., Galevski, P., 2021. Lean implementation and implications: experiences from Macedonia. Int. J. Lean Six Sigma 12, 78–97. https://doi.org/10.1108/IJLSS-10-2016-0057

Mishra, P., Sharma, R.K., 2014. A hybrid framework based on SIPOC and Six Sigma DMAIC for improving process dimensions in supply chain network. Int. J. Qual. Reliab. Manag. 31, 522–546. https://doi.org/10.1108/IJQRM-06-2012-0089

Mishra, U., Wu, J.-Z., Sarkar, B., 2021. Optimum sustainable inventory management with backorder and deterioration under controllable carbon emissions. J. Clean. Prod. 279, 123699. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123699

Mitake, Y., Tsutsui, Y., Alfarihi, S., Sholihah, M., Shimomura, Y., 2021. A life cycle cost analysis method accelerating IoT implementation in SMEs. Procedia CIRP, 54th CIRP CMS 2021 - Towards Digitalized Manufacturing 4.0 104, 1424–1429. https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.11.240

Mo, C., Sun, W., 2020. Point-by-point feature extraction of artificial intelligence images based on the Internet of Things. Comput. Commun. 159, 1–8. https://doi.org/10.1016/j.comcom.2020.05.015

Mögele, M., Rau, H., 2019. Wheels in motion: a discourse-analytical study of the transformation of the German automobile industry. Transp. Res. Procedia, Urban Mobility – Shaping the Future Together mobil.TUM 2018 – International Scientific Conference on Mobility and Transport Conference Proceedings 41, 488–490. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2019.09.080

Mohammadzadeh, N., Zegordi, S.H., Nikbakhsh, E., 2021. Pricing and free periodic maintenance service decisions for an electric-and-fuel automotive supply chain using the total cost of ownership. Appl. Energy 288, 116471. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.116471

Mohanta, B.K., Jena, D., Satapathy, U., Patnaik, S., 2020. Survey on IoT security: Challenges and solution using machine learning, artificial intelligence and blockchain technology. Internet Things 11, 100227. https://doi.org/10.1016/j.iot.2020.100227

Moharm, K., 2019. State of the art in big data applications in microgrid: A review. Adv. Eng. Inform. 42, 100945. https://doi.org/10.1016/j.aei.2019.100945

Moktadir, Md.A., Kumar, A., Ali, S.M., Paul, S.K., Sultana, R., Rezaei, J., 2020. Critical success factors for a circular economy: Implications for business strategy and the environment. Bus. Strategy Environ. 29, 3611–3635. https://doi.org/10.1002/bse.2600

Mollenkopf, D., Stolze, H., Tate, W.L., Ueltschy, M., 2010. Green, lean, and global supply chains. Int. J. Phys. Distrib. Logist. Manag. 40, 14–41. https://doi.org/10.1108/09600031011018028

Mota, B., Gomes, M.I., Carvalho, A., Barbosa-Povoa, A.P., 2015. Towards supply chain sustainability: economic, environmental and social design and planning. J. Clean. Prod., Decision-support models and tools for helping to make real progress to more sustainable societies 105, 14–27. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.07.052

Moufad, I., Jawab, F., 2019. A study framework for assessing the performance of the urban freight transport based on PLS approach. Arch. Transp. Vol. 49, iss. 1. https://doi.org/10.5604/01.3001.0013.2777

Moufad, I., & Jawab, F., 2017. Multi-criteria analysis of urban public transport problems: the city of Fes as a Case. Int. J. Sci. Eng. Res, 8(1).

Moyano-Fuentes, J., Sacristán-Díaz, M., Martínez-Jurado, P.J., 2012. Cooperation in the supply chain and lean production adoption: Evidence from the Spanish automotive industry. Int. J. Oper. Prod. Manag. 32, 1075–1096. https://doi.org/10.1108/01443571211265701

Müller, J.M., 2019. Business model innovation in small- and medium-sized enterprises: Strategies for industry 4.0 providers and users. J. Manuf. Technol. Manag. 30, 1127–1142. https://doi.org/10.1108/JMTM-01-2018-0008

Müller, J.M., Birkel, H.S., 2020. Contributions of Industry 4.0 to lean management within the supply chain operations reference model. Int. J. Integr. Supply Manag. 13, 74–89. https://doi.org/10.1504/IJISM.2020.107781

Muller, M., 2011. Essentials of Inventory Management, $ {number}nd édition. ed. Amacom, New York.

Mund, K., Pieterse, K., Cameron, S., 2015. Lean product engineering in the South African automotive industry. J. Manuf. Technol. Manag. 26, 703–724. https://doi.org/10.1108/JMTM-05-2013-0062

Mungan, D., Yu, J., Sarker, B.R., 2010. Manufacturing lot-sizing, procurement and delivery schedules over a finite planning horizon. Int. J. Prod. Res. 48, 3619–3636. https://doi.org/10.1080/00207540902878228

Muñuzuri, J., Onieva, L., Cortés, P., Guadix, J., 2020. Using IoT data and applications to improve port-based intermodal supply chains. Comput. Ind. Eng. 139, 105668. https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.01.042

Murugan, N., Deverajan, G., Chatterjee, P., Alnumay, W., Muthukumaran, V., 2021. Integration of IoT based Routing Process for Food Supply Chain Management in Sustainable Smart Cities. Sustain. Cities Soc. 76, 103448. https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103448

Nag, B., Han, C., Yao, D.-Q., 2014. Mapping supply chain strategy: An industry analysis. J. Manuf. Technol. Manag. 25, 351–370. https://doi.org/10.1108/JMTM-06-2012-0062

Napoleone, A., Macchi, M., Pozzetti, A., 2020. A review on the characteristics of cyber-physical systems for the future smart factories. J. Manuf. Syst. 54, 305–335. https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2020.01.007

Narwane, V.S., Gunasekaran, A., Gardas, B.B., 2022. Unlocking adoption challenges of IoT in Indian Agricultural and Food Supply Chain. Smart Agric. Technol. 2, 100035. https://doi.org/10.1016/j.atech.2022.100035

Nasiri, M., Ukko, J., Saunila, M., Rantala, T., 2020. Managing the digital supply chain: The role of smart technologies. Technovation 96–97, 102121. https://doi.org/10.1016/j.technovation.2020.102121

Nižetić, S., Šolić, P., López-de-Ipiña González-de-Artaza, D., Patrono, L., 2020. Internet of Things (IoT): Opportunities, issues and challenges towards a smart and sustainable future. J. Clean. Prod. 274, 122877. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122877

Nnaji, C., Awolusi, I., 2021. Critical success factors influencing wearable sensing device implementation in AEC industry. Technol. Soc. 66, 101636. https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2021.101636

Novais, L., Maqueira, J.M., Ortiz-Bas, Á., 2019. A systematic literature review of cloud computing use in supply chain integration. Comput. Ind. Eng. 129, 296–314. https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.01.056

Nozari, H., Ghahremani-Nahr, J., Fallah, M., Szmelter-jarosz, A., 2022. Assessment of Cyber Risks in an IoT-based Supply Chain using a Fuzzy Decision-Making Method. Int. J. Innov. Manag. Econ. Soc. Sci. 2, 52–64. https://doi.org/10.52547/ijimes.2.1.52

Núñez-Merino, M., Maqueira-Marín, J.M., Moyano-Fuentes, J., Martínez-Jurado, P.J., 2020. Information and digital technologies of Industry 4.0 and Lean supply chain management: a systematic literature review. Int. J. Prod. Res. 58, 5034–5061. https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1743896

Okoli, C., Schabram, K., 2010. A Guide to Conducting a Systematic Literature Review of Information Systems Research (SSRN Scholarly Paper No. ID 1954824). Social Science Research Network, Rochester, NY. https://doi.org/10.2139/ssrn.1954824

Okorie, O., Russell, J., Cherrington, R., Fisher, O., Charnley, F., 2023. Digital transformation and the circular economy: Creating a competitive advantage from the transition towards Net Zero Manufacturing. Resour. Conserv. Recycl. 189, 106756. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106756

Oliver, R.K., Webber, M.D., 2012. Supply-Chain Management: Logistics Catches up with Strategy, in: Klaus, P., Müller, S. (Eds.), . Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp. 183–194. https://doi.org/10.1007/978-3-642-27922-5_15

Oluyisola, O.E., Strandhagen, J.W., Buer, S.-V., 2018. RFId technology in the manufacture of customized drainage and piping systems: a case study. IFAC-Pap., 16th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing INCOM 2018 51, 364–369. https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.320

Omitola, T., Wills, G., 2018. Towards Mapping the Security Challenges of the Internet of Things (IoT) Supply Chain. Procedia Comput. Sci., Knowledge-Based and Intelligent Information & Engineering Systems: Proceedings of the 22nd International Conference, KES-2018, Belgrade, Serbia 126, 441–450. https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.07.278

Othman, A.A., Kaliani Sundram, V.P., Sayuti, N.M., Bahrin, A.S., 2016. The relationship between supply chain integration, just-in-time and logistics performance: A supplier's perspective on the automotive industry in Malaysia. Int. J. Supply Chain Manag. 5, 44–51.

Pahič, R., Lončarević, Z., Gams, A., Ude, A., 2021. Robot skill learning in latent space of a deep autoencoder neural network. Robot. Auton. Syst. 135, 103690. https://doi.org/10.1016/j.robot.2020.103690

Pal, K., 2019. Algorithmic Solutions for RFID Tag Anti-Collision Problem in Supply Chain Management. Procedia Comput. Sci., The 10th International Conference on Ambient Systems, Networks and Technologies (ANT 2019) / The 2nd International Conference on Emerging Data and Industry 4.0 (EDI40 2019) / Affiliated Workshops 151, 929–934. https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.04.129

Pal, S., Dorri, A., Jurdak, R., 2022. Blockchain for IoT access control: Recent trends and future research directions. J. Netw. Comput. Appl. 203, 103371. https://doi.org/10.1016/j.jnca.2022.103371

Palmarini, R., Erkoyuncu, J.A., Roy, R., Torabmostaedi, H., 2018. A systematic review of augmented reality applications in maintenance. Robot. Comput.-Integr. Manuf. 49, 215–228. https://doi.org/10.1016/j.rcim.2017.06.002

Pan, S., Trentesaux, D., McFarlane, D., Montreuil, B., Ballot, E., Huang, G.Q., 2021. Digital interoperability and transformation in logistics and supply chain management: Editorial. Comput. Ind. 129, 103462. https://doi.org/10.1016/j.compind.2021.103462

Papert, M., Rimpler, P., Pflaum, A., 2016. Enhancing supply chain visibility in a pharmaceutical supply chain: Solutions based on automatic identification technology. Int. J. Phys. Distrib. Logist. Manag. 46, 859–884. https://doi.org/10.1108/IJPDLM-06-2016-0151

Papulová, Z., Gažová, A., Šufliarský, Ľ., 2022. Implementation of Automation Technologies of Industry 4.0 in Automotive Manufacturing Companies. Procedia Comput. Sci., 3rd International Conference on Industry 4.0 and Smart Manufacturing 200, 1488–1497. https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.01.350

Parthiban, P., Abdul Zubar, H., Katakar, P., 2013. Vendor selection problem: A multi-criteria approach based on strategic decisions. Int. J. Prod. Res. 51, 1535–1548. https://doi.org/10.1080/00207543.2012.709644

Paul, S.K., Chowdhury, P., Moktadir, Md.A., Lau, K.H., 2021. Supply chain recovery challenges in the wake of COVID-19 pandemic. J. Bus. Res. 136, 316–329. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.07.056

Pedrycz, W., Gomide, F., 2007. Fuzzy Systems Engineering: Toward Human-Centric Computing, Fuzzy Systems Engineering: Toward Human-Centric Computing. https://doi.org/10.1002/9780470168967

Pendor, R.B., Tasgaonkar, P.P., 2016. An IoT framework for intelligent vehicle monitoring system, in: 2016 International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP). Presented at the 2016 International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP), pp. 1694–1696. https://doi.org/10.1109/ICCSP.2016.7754454

Pereira, C.M., Anholon, R., Rampasso, I.S., Quelhas, O.L.G., Leal Filho, W., Santa-Eulalia, L.A., 2021. Evaluation of lean practices in warehouses: an analysis of Brazilian reality. Int. J. Product. Perform. Manag. 70, 1–20. https://doi.org/10.1108/IJPPM-01-2019-0034

Perez-Franco, R., Phadnis, S., Caplice, C., Sheffi, Y., 2016. Rethinking supply chain strategy as a conceptual system. Int. J. Prod. Econ. 182, 384–396. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.09.012

Peronard, J.-P., Ballantyne, A.G., 2019. Broadening the understanding of the role of consumer services in the circular economy: Toward a conceptualization of value creation processes. J. Clean. Prod. 239, 118010. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118010

Petković, T., Puljiz, D., Marković, I., Hein, B., 2019. Human intention estimation based on hidden Markov model motion validation for safe flexible robotized warehouses. Robot. Comput.-Integr. Manuf. 57, 182–196. https://doi.org/10.1016/j.rcim.2018.11.004

Pieroni, M.P.P., McAloone, T.C., Pigosso, D.C.A., 2020. From theory to practice: systematising and testing business model archetypes for circular economy. Resour. Conserv. Recycl. 162, 105029. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105029

Pires, A., Martinho, G., 2019. Waste hierarchy index for circular economy in waste management. Waste Manag. 95, 298–305. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.06.014

Plenert, G., 2010. Reinventing Lean: Introducing Lean Management into the Supply Chain. Elsevier.

Plociennik, C., Pourjafarian, M., Nazeri, A., Windholz, W., Knetsch, S., Rickert, J., Ciroth, A., Precci Lopes, A. do C., Hagedorn, T., Vogelgesang, M., Benner, W., Gassmann, A., Bergweiler, S., Ruskowski, M., Schebek, L., Weidenkaff, A., 2022. Towards a Digital Lifecycle Passport for the Circular Economy. Procedia CIRP, The 29th CIRP Conference on Life Cycle Engineering, April 4 – 6, 2022, Leuven, Belgium. 105, 122–127. https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.02.021

Psomas, E., Antony, J., 2019. Research gaps in Lean manufacturing: a systematic literature review. Int. J. Qual. Reliab. Manag. 36, 815–839. https://doi.org/10.1108/IJQRM-12-2017-0260

Qamar, A., Hall, M.A., Chicksand, D., Collinson, S., 2020. Quality and flexibility performance trade-offs between lean and agile manufacturing firms in the automotive industry. Prod. Plan. Control 31, 723–738. https://doi.org/10.1080/09537287.2019.1681534

Qamar, A., Hall, M.A., Collinson, S., 2018. Lean versus agile production: flexibility trade-offs within the automotive supply chain. Int. J. Prod. Res. 56, 3974–3993. https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1463109

Qazi, A.M., Mahmood, S.H., Haleem, A., Bahl, S., Javaid, M., Gopal, K., 2022. The impact of smart materials, digital twins (DTs) and Internet of things (IoT) in an industry 4.0 integrated automation industry. Mater. Today Proc. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.01.387

Qiuping, W., Shunbing, Z., Chunquan, D., 2011. Study On Key Technologies Of Internet Of Things Perceiving Mine. Procedia Eng., ISMSSE2011 26, 2326–2333. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.11.2442

Queiroz, M.M., Telles, R., 2018. Big data analytics in supply chain and logistics: an empirical approach. Int. J. Logist. Manag. 29, 767–783. https://doi.org/10.1108/IJLM-05-2017-0116

Raghu, R., 2018. The many dimensions of successful IoT deployment. Netw. Secur. 2018, 10–15. https://doi.org/10.1016/S1353-4858(18)30126-0

Rahim, Md.A., Rahman, Md.A., Rahman, M.M., Asyhari, A.T., Bhuiyan, Md.Z.A., Ramasamy, D., 2021. Evolution of IoT-enabled connectivity and applications in automotive industry: A review. Veh. Commun. 27, 100285. https://doi.org/10.1016/j.vehcom.2020.100285

Raj Kumar Reddy, K., Gunasekaran, A., Kalpana, P., Raja Sreedharan, V., Arvind Kumar, S., 2021. Developing a blockchain framework for the automotive supply chain: A systematic review. Comput. Ind. Eng. 157, 107334. https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107334

Rajabion, L., Khorraminia, M., Andjomshoaa, A., Ghafouri-Azar, M., Molavi, H., 2019. A new model for assessing the impact of the urban intelligent transportation system, farmers' knowledge and business processes on the success of green supply chain management system for urban distribution of agricultural products. J. Retail. Consum. Serv. 50, 154–162. https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2019.05.007

Rajeev, A., Pati, R.K., Padhi, S.S., Govindan, K., 2017. Evolution of sustainability in supply chain management: A literature review. J. Clean. Prod. 162, 299–314. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.05.026

Rajput, S., Singh, S.P., 2020. Industry 4.0 Model for circular economy and cleaner production. J. Clean. Prod. 277, 123853. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123853

Rajput, S., Singh, S.P., 2019. Connecting circular economy and industry 4.0. Int. J. Inf. Manag. 49, 98–113. https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.03.002

Ramirez-Peña, M., Abad Fraga, F.J., Sánchez Sotano, A.J., Batista, M., 2019. Shipbuilding 4.0 Index Approaching Supply Chain. Materials 12, 4129. https://doi.org/10.3390/ma12244129

Ramirez-Peña, M., Mayuet, P.F., Vazquez-Martinez, J.M., Batista, M., 2020a. Sustainability in the Aerospace, Naval, and Automotive Supply Chain 4.0: Descriptive Review. Materials 13, 5625. https://doi.org/10.3390/ma13245625

Ramirez-Peña, M., Sánchez Sotano, A.J., Pérez-Fernandez, V., Abad, F.J., Batista, M., 2020b. Achieving a sustainable shipbuilding supply chain under I4.0 perspective. J. Clean. Prod. 244, 118789. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118789

Ramos, E., Pettit, T.J., Flanigan, M., Romero, L., Huayta, K., 2020. Inventory management model based on lean supply chain to increase the service level in a distributor of automotive sector. Int. J. Supply Chain Manag. 9, 113–131.

Raphael, E., Kiefer, R., Reisman, P., Hayon, G., 2011. Development of a Camera-Based Forward Collision Alert System. SAE Int. J. Passeng. Cars - Mech. Syst. 4, 467–478. https://doi.org/10.4271/2011-01-0579

Ratnayake, R.M.C., 2014. Application of a fuzzy inference system for functional failure risk rank estimation: RBM of rotating equipment and instrumentation. J. Loss Prev. Process Ind. 29, 216–224. https://doi.org/10.1016/j.jlp.2014.03.002

Raut, R.D., Mangla, S.K., Narwane, V.S., Dora, M., Liu, M., 2021. Big Data Analytics as a mediator in Lean, Agile, Resilient, and Green (LARG) practices effects on sustainable supply chains. Transp. Res. Part E Logist. Transp. Rev. 145, 102170. https://doi.org/10.1016/j.tre.2020.102170

Ray, S., Chen, W., Cammarota, R., 2018. Protecting the supply chain for automotives and IoTs, in: Proceedings of the 55th Annual Design Automation Conference, DAC '18. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, pp. 1–4. https://doi.org/10.1145/3195970.3199851

Regal, T., Pereira, C.E., 2018. Ontology for Conceptual Modelling of Intelligent Maintenance Systems and Spare Parts Supply Chain Integration. IFAC-Pap., 16th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing INCOM 2018 51, 1511–1516. https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.285

Rehali, M., Elhassani, M.E., jaouhari, A.E., Berrada, M., 2023. The Use of Artificial Intelligence and Blockchain in Healthcare Applications: Introduction for Beginning Researchers, in: Motahhir, S., Bossoufi, B. (Eds.), Digital Technologies and Applications, Lecture Notes in Networks and Systems. Springer Nature Switzerland, Cham, pp. 986–997. https://doi.org/10.1007/978-3-031-29857-8_98

Rehm, M., Schneegaß, L., Schmidt, T., 2013. Lean logistics in printing press manufacturing - Interdependencies and requirements. Logist. J. 2013. https://doi.org/10.2195/lj_NotRev_rehm_de_20130611_01

Reslan, M., Last, N., Mathur, N., Morris, K.C., Ferrero, V., 2022. Circular Economy: A Product Life Cycle Perspective on Engineering and Manufacturing Practices. Procedia CIRP, The 29th CIRP

Conference on Life Cycle Engineering, April 4 – 6, 2022, Leuven, Belgium. 105, 851–858. https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.02.141

Reuter, B., 2016. Assessment of sustainability issues for the selection of materials and technologies during product design: a case study of lithium-ion batteries for electric vehicles. Int. J. Interact. Des. Manuf. IJIDeM 10, 217–227. https://doi.org/10.1007/s12008-016-0329-0

Rey, R., Cobano, J.A., Corzetto, M., Merino, L., Alvito, P., Caballero, F., 2021. A novel robot co-worker system for paint factories without the need of existing robotic infrastructure. Robot. Comput.-Integr. Manuf. 70, 102122. https://doi.org/10.1016/j.rcim.2021.102122

Rieth, M., Hagemann, V., 2022. Automation as an equal team player for humans? – A view into the field and implications for research and practice. Appl. Ergon. 98, 103552. https://doi.org/10.1016/j.apergo.2021.103552

Robards, M., Silber, G., Adams, J., Arroyo, J., Lorenzini, D., Schwehr, K., Amos, J., 2016. Conservation science and policy applications of the marine vessel Automatic Identification System (AIS)—a review. Bull. Mar. Sci. 92, 75–103. https://doi.org/10.5343/bms.2015.1034

Rodríguez-Espíndola, O., Cuevas-Romo, A., Chowdhury, S., Díaz-Acevedo, N., Albores, P., Despoudi, S., Malesios, C., Dey, P., 2022. The role of circular economy principles and sustainable-oriented innovation to enhance social, economic and environmental performance: Evidence from Mexican SMEs. Int. J. Prod. Econ. 248, 108495. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2022.108495

Rodriguez-Gonzalez, C.G., Herranz-Alonso, A., Escudero-Vilaplana, V., Ais-Larisgoitia, M.A., Iglesias-Peinado, I., Sanjurjo-Saez, M., 2019. Robotic dispensing improves patient safety, inventory management, and staff satisfaction in an outpatient hospital pharmacy. J. Eval. Clin. Pract. 25, 28–35. https://doi.org/10.1111/jep.13014

Rossi, E., Bertassini, A.C., Ferreira, C. dos S., Neves do Amaral, W.A., Ometto, A.R., 2020. Circular economy indicators for organizations considering sustainability and business models: Plastic, textile and electro-electronic cases. J. Clean. Prod. 247, 119137. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119137

Rossolov, A., Lobashov, O., Kopytkov, D., Naumov, V., 2020. Sustainable suburban supply chain. Transp. Res. Procedia, Transport Infrastructure and systems in a changing world. Towards a more sustainable, reliable and smarter mobility.TIS Roma 2019 Conference Proceedings 45, 795–802. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.02.092

Rotondo, F., Corsi, K., Giovanelli, L., 2019. The social side of sustainable business models: An explorative analysis of the low-cost airline industry. J. Clean. Prod. 225, 806–819. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.345

Roy, M., Roy, A., 2019. Nexus of Internet of Things (IoT) and Big Data: Roadmap for Smart Management Systems (SMgS). IEEE Eng. Manag. Rev. 47, 53–65. https://doi.org/10.1109/EMR.2019.2915961

Sabri, Y., Micheli, G.J.L., Nuur, C., 2018. Exploring the impact of innovation implementation on supply chain configuration. J. Eng. Technol. Manag. 49, 60–75. https://doi.org/10.1016/j.jengtecman.2018.06.001

Safkhani, M., Rostampour, S., Bendavid, Y., Bagheri, N., 2020. IoT in medical & pharmaceutical: Designing lightweight RFID security protocols for ensuring supply chain integrity. Comput. Netw. 181, 107558. https://doi.org/10.1016/j.comnet.2020.107558

Saleeshya, P.G., Sneha, A., Karthikeyan, C., Sreenu, C., Rohith, A.K., 2015. Lean practices in machinery manufacturing industries - A case study. Int. J. Logist. Syst. Manag. 20, 536–554. https://doi.org/10.1504/IJLSM.2015.068494

Salvador, R., Barros, M.V., Freire, F., Halog, A., Piekarski, C.M., De Francisco, A.C., 2021. Circular economy strategies on business modelling: Identifying the greatest influences. J. Clean. Prod. 299, 126918. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126918

Sanchez Rodrigues, V., Kumar, M., 2019. Synergies and misalignments in lean and green practices: a logistics industry perspective. Prod. Plan. Control 30, 369–384. https://doi.org/10.1080/09537287.2018.1501812

Sandeep, S.R., Ahamad, S., Saxena, D., Srivastava, K., Jaiswal, S., Bora, A., 2022. To understand the relationship between Machine learning and Artificial intelligence in large and diversified

business organisations. Mater. Today Proc., International Conference on Applied Research and Engineering 2021 56, 2082–2086. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.11.409

Sanders, A., Elangeswaran, C., Wulfsberg, J., 2016. Industry 4.0 implies lean manufacturing: Research activities in industry 4.0 function as enablers for lean manufacturing. J. Ind. Eng. Manag. 9, 811. https://doi.org/10.3926/jiem.1940

Sandhu, H., Clarke, B., Baring, R., Anderson, S., Fisk, C., Dittmann, S., Walker, S., Sutton, P., Kubiszewski, I., Costanza, R., 2018. Scenario planning including ecosystem services for a coastal region in South Australia. Ecosyst. Serv. 31, 194–207. https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2018.04.006

Saravanan, G., Parkhe, S.S., Thakar, C.M., Kulkarni, V.V., Mishra, H.G., Gulothungan, G., 2022. Implementation of IoT in production and manufacturing: An Industry 4.0 approach. Mater. Today Proc., International Conference on Advances in Materials Science 51, 2427–2430. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.11.604

Sarkar, B., Ullah, M., Sarkar, M., 2022. Environmental and economic sustainability through innovative green products by remanufacturing. J. Clean. Prod. 332, 129813. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129813

Sathiyanarayanan, M., Mahendra, S., Vasu, R.B., 2018. Smart Security System for Vehicles using Internet of Things (IoT), in: 2018 Second International Conference on Green Computing and Internet of Things (ICGCIoT). Presented at the 2018 Second International Conference on Green Computing and Internet of Things (ICGCIoT), pp. 430–435. https://doi.org/10.1109/ICGCIoT.2018.8753073

Sawe, F.B., Kumar, A., Garza-Reyes, J.A., Agrawal, R., 2021. Assessing people-driven factors for circular economy practices in small and medium-sized enterprise supply chains: Business strategies and environmental perspectives. Bus. Strategy Environ. 30, 2951–2965. https://doi.org/10.1002/bse.2781

Schniederjans, D.G., Curado, C., Khalajhedayati, M., 2020. Supply chain digitisation trends: An integration of knowledge management. Int. J. Prod. Econ. 220, 107439. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.07.012

Schöggl, J.-P., Stumpf, L., Baumgartner, R.J., 2020. The narrative of sustainability and circular economy - A longitudinal review of two decades of research. Resour. Conserv. Recycl. 163, 105073. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105073

Schulze, F., Dallasega, P., 2021. Barriers to lean implementation in engineer-to-order manufacturing with subsequent assembly on-site: state of the art and future directions. Prod. Plan. Control. https://doi.org/10.1080/09537287.2021.1888159

Schutzer, D., 1990. Business expert systems: The competitive edge. Expert Syst. Appl. 1, 17–21. https://doi.org/10.1016/0957-4174(90)90065-3

Selma, K., Ilyès, B., Ladjel, B., Eric, S., Stéphane, J., Michael, B., 2012. Ontology-based structured web data warehouses for sustainable interoperability: requirement modeling, design methodology and tool. Comput. Ind., Special Issue on Sustainable Interoperability: The Future of Internet Based Industrial Enterprises 63, 799–812. https://doi.org/10.1016/j.compind.2012.08.001

Sfez, S., De Meester, S., Vlaeminck, S.E., Dewulf, J., 2019. Improving the resource footprint evaluation of products recovered from wastewater: A discussion on appropriate allocation in the context of circular economy. Resour. Conserv. Recycl. 148, 132–144. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.03.029

Shaaban, S., Hudson, S., González-R, P.L., Framinan, J.M., Ruiz-Usano, R., 2013. A methodology for the design and operation of pull-based supply chains. J. Manuf. Technol. Manag. 24, 307–330. https://doi.org/10.1108/17410381311318855

Shafique, M.N., Rashid, A., Bajwa, I.S., Kazmi, R., Khurshid, M.M., Tahir, W.A., 2018. Effect of IoT Capabilities and Energy Consumption behavior on Green Supply Chain Integration. Appl. Sci. 8, 2481. https://doi.org/10.3390/app8122481

Shahbazi, Z., Byun, Y.-C., 2021. A Procedure for Tracing Supply Chains for Perishable Food Based on Blockchain, Machine Learning and Fuzzy Logic. Electronics 10, 41. https://doi.org/10.3390/electronics10010041

Shao, S., Xu, G., Li, M., 2019. The design of an IoT-based route optimization system: A smart product-service system (SPSS) approach. Adv. Eng. Inform. 42, 101006. https://doi.org/10.1016/j.aei.2019.101006

Sharma, P., Kulkarni, M.S., 2016. Framework for a dynamic and responsive: Time separated – lean-agile spare parts replenishment system in army. Int. J. Product. Perform. Manag. 65, 207–222. https://doi.org/10.1108/IJPPM-07-2014-0113

Shekarian, E., Kazemi, N., Abdul-Rashid, S.H., Olugu, E.U., 2017. Fuzzy inventory models: A comprehensive review. Appl. Soft Comput. 55, 588–621. https://doi.org/10.1016/j.asoc.2017.01.013

Shiau, J.-Y., Lee, M.-C., 2010. A warehouse management system with sequential picking for multi-container deliveries. Comput. Ind. Eng., Supply, Production and Distribution Systems 58, 382–392. https://doi.org/10.1016/j.cie.2009.04.017

Sillanpaa, M., Necibi, C., 2019. The Circular Economy: Case Studies about the Transition from the Linear Economy. Elsevier.

Silva, N., Pålsson, H., 2022. Industrial packaging and its impact on sustainability and circular economy: A systematic literature review. J. Clean. Prod. 333, 130165. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.130165

Singh, M., Tuli, S., Butcher, R.J., Kaur, R., Gill, S.S., 2021. Dynamic Shift from Cloud Computing to Industry 4.0: Eco-Friendly Choice or Climate Change Threat, in: Krause, P., Xhafa, F. (Eds.), IoT-Based Intelligent Modelling for Environmental and Ecological Engineering: IoT Next Generation EcoAgro Systems, Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies. Springer International Publishing, Cham, pp. 275–293. https://doi.org/10.1007/978-3-030-71172-6_12

Singhal, P., Agarwal, G., Mittal, M.L., 2011. Supply chain risk management: Review, classification and future research directions. Int. J. Bus. Sci. Appl. Manag. 6, 15–42.

Siracusa, V., Dalla Rosa, M., 2018. Sustainable Packaging, in: Sustainable Food Systems from Agriculture to Industry. pp. 275–307. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811935-8.00008-1

Sirish Kumar, P., Srilatha Indira Dutt, V.B.S., 2020. The global positioning system: Popular accuracy measures. Mater. Today Proc., International Conference on Nanotechnology: Ideas, Innovation and Industries 33, 4797–4801. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.08.380

Skulmoski, G.J., Hartman, F.T., Krahn, J., 2007. The Delphi Method for Graduate Research. J. Inf. Technol. Educ. Res. 6, 1–21.

Smiari, P., Bibi, S., Feitosa, D., 2020. Examining the reuse potentials of IoT application frameworks. J. Syst. Softw. 169, 110706. https://doi.org/10.1016/j.jss.2020.110706

Smith, D., Srinivas, S., 2019. A simulation-based evaluation of warehouse check-in strategies for improving inbound logistics operations. Simul. Model. Pract. Theory 94, 303–320. https://doi.org/10.1016/j.simpat.2019.03.004

Son, D.W., Chang, Y.S., Kim, W.R., 2015. Design of Warehouse Control System for Real Time Management. IFAC-Pap., 15th IFAC Symposium onInformation Control Problems inManufacturing 48, 1434–1438. https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.288

Soni, G., Kumar, S., Mahto, R.V., Mangla, S.K., Mittal, M.L., Lim, W.M., 2022. A decision-making framework for Industry 4.0 technology implementation: The case of FinTech and sustainable supply chain finance for SMEs. Technol. Forecast. Soc. Change 180, 121686. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121686

Sony, M., Antony, J., Mc Dermott, O., Garza-Reyes, J.A., 2021. An empirical examination of benefits, challenges, and critical success factors of industry 4.0 in manufacturing and service sector. Technol. Soc. 67, 101754. https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2021.101754

Sony, M., Naik, S., 2020. Critical factors for the successful implementation of Industry 4.0: a review and future research direction. Prod. Plan. Control 31, 799–815. https://doi.org/10.1080/09537287.2019.1691278

Srinivasan, D., Cheu, R.L., Tan, C.W., 2003. Development of an improved ERP system using GPS and AI techniques, in: Proceedings of the 2003 IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems. Presented at the Proceedings of the 2003 IEEE International

Conference on Intelligent Transportation Systems, pp. 554–559 vol.1. https://doi.org/10.1109/ITSC.2003.1252014

Stopka, O., Stopková, M., Ľupták, V., 2019. Proposal of the Inventory Management Automatic Identification System in the Manufacturing Enterprise Applying the Multi-criteria Analysis Methods. Open Eng. 9, 397–403. https://doi.org/10.1515/eng-2019-0046

Stumpf, L., Schöggl, J.-P., Baumgartner, R.J., 2021. Climbing up the circularity ladder? – A mixed-methods analysis of circular economy in business practice. J. Clean. Prod. 316, 128158. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128158

Suárez-Eiroa, B., Fernández, E., Méndez-Martínez, G., Soto-Oñate, D., 2019. Operational principles of circular economy for sustainable development: Linking theory and practice. J. Clean. Prod. 214, 952–961. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.271

Subeesh, A., Mehta, C.R., 2021. Automation and digitization of agriculture using artificial intelligence and internet of things. Artif. Intell. Agric. 5, 278–291. https://doi.org/10.1016/j.aiia.2021.11.004

Sugumar, D., Anita Jones, T., Senthilkumar, K.S., Jeba Kumar, R.J.S., Thennarasi, G., 2020. Chapter 4 - Smart Vehicle Monitoring and Tracking System Powered by Active Radio Frequency Identification and Internet of Things, in: Peter, D., Alavi, A.H., Javadi, B., Fernandes, S.L. (Eds.), The Cognitive Approach in Cloud Computing and Internet of Things Technologies for Surveillance Tracking Systems, Intelligent Data-Centric Systems. Academic Press, pp. 51–64. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816385-6.00004-0

Sulaiman V, R., Hall, A., Kalaivani, N.J., Dorai, K., Reddy, T.S.V., 2012. Necessary, But Not Sufficient: Critiquing the Role of Information and Communication Technology in Putting Knowledge into Use. J. Agric. Educ. Ext. 18, 331–346. https://doi.org/10.1080/1389224X.2012.691782

Sundarakani, B., Ajaykumar, A., Gunasekaran, A., 2021. Big data driven supply chain design and applications for blockchain: An action research using case study approach. Omega 102, 102452. https://doi.org/10.1016/j.omega.2021.102452

Szafir, D., Mutlu, B., Fong, T., 2017. Designing planning and control interfaces to support user collaboration with flying robots. Int. J. Robot. Res. 36, 514–542. https://doi.org/10.1177/0278364916688256

Taghikhah, F., Voinov, A., Shukla, N., 2019. Extending the supply chain to address sustainability. J. Clean. Prod. 229, 652–666. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.051

Tan, W.C., Sidhu, M.S., 2022a. Review of RFID and IoT integration in supply chain management. Oper. Res. Perspect. 9, 100229. https://doi.org/10.1016/j.orp.2022.100229

Tan, W.C., Sidhu, M.S., 2022b. Review of RFID and IoT integration in supply chain management. Oper. Res. Perspect. 9, 100229. https://doi.org/10.1016/j.orp.2022.100229

Tang, C.S., Veelenturf, L.P., 2019. The strategic role of logistics in the industry 4.0 era. Transp. Res. Part E Logist. Transp. Rev. 129, 1–11. https://doi.org/10.1016/j.tre.2019.06.004

Tanner, D., 2016. Applications for RFID Technologies in the Food Supply Chain, in: Reference Module in Food Science. Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.03164-4

Tarasov, I.V., 2018. Industry 4.0: Technologies and their impact on productivity of industrial companies. Strateg. Decis. Risk Manag. 0, 62–69. https://doi.org/10.17747/2078-8886-2018-2-62-69

Tatsumoto, Y., Shiraishi, M., Cai, K., Lin, Z., 2018. Application of online supervisory control of discrete-event systems to multi-robot warehouse automation. Control Eng. Pract. 81, 97–104. https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2018.09.003

Tay, S.I., Alipal, J., Lee, T.C., 2021. Industry 4.0: Current practice and challenges in Malaysian manufacturing firms. Technol. Soc. 67, 101749. https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2021.101749

Tejesh, B.S.S., Neeraja, S., 2018. Warehouse inventory management system using IoT and open source framework. Alex. Eng. J. 57, 3817–3823. https://doi.org/10.1016/j.aej.2018.02.003

Teucke, M., Sommerfeld, D., Freitag, M., 2018. Sharing Sensor Based Quality Data in Automotive Supply Chain Processes. IFAC-Pap., 16th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing INCOM 2018 51, 770–775. https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.412

Thibaud, M., Chi, H., Zhou, W., Piramuthu, S., 2018. Internet of Things (IoT) in high-risk Environment, Health and Safety (EHS) industries: A comprehensive review. Decis. Support Syst. 108, 79–95. https://doi.org/10.1016/j.dss.2018.02.005

Thomé, A.M.T., Scavarda, L.F., Scavarda, A.J., 2016. Conducting systematic literature review in operations management. Prod. Plan. Control 27, 408–420. https://doi.org/10.1080/09537287.2015.1129464

Thun, J.-H., Drüke, M., Hoenig, D., 2011. Managing uncertainty-an empirical analysis of supply chain risk management in small and medium-sized enterprises. Int. J. Prod. Res. 49, 5511–5525. https://doi.org/10.1080/00207543.2011.563901

Tiwari, S., Daryanto, Y., Wee, H.M., 2018. Sustainable inventory management with deteriorating and imperfect quality items considering carbon emission. J. Clean. Prod. 192, 281–292. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.04.261

Tjahjono, B., Esplugues, C., Ares, E., Pelaez, G., 2017. What does Industry 4.0 mean to Supply Chain? Procedia Manuf., Manufacturing Engineering Society International Conference 2017, MESIC 2017, 28-30 June 2017, Vigo (Pontevedra), Spain 13, 1175–1182. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.191

Torabizadeh, M., Yusof, N.M., Ma'aram, A., Shaharoun, A.M., 2020. Identifying sustainable warehouse management system indicators and proposing new weighting method. J. Clean. Prod. 248, 119190. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119190

Tortorella, G., Miorando, R., Mac Cawley, A.F., 2019. The moderating effect of Industry 4.0 on the relationship between lean supply chain management and performance improvement. Supply Chain Manag. 24, 301–314. https://doi.org/10.1108/SCM-01-2018-0041

Tranfield, D., Denyer, D., Smart, P., 2003. Towards a Methodology for Developing Evidence-Informed Management Knowledge by Means of Systematic Review. Br. J. Manag. 14, 207–222. https://doi.org/10.1111/1467-8551.00375

Tronnebati, I., Jawab, F., 2020. The similarities and differences between the green and sustainable supply chain management definitions and factors: A literature review, in: 2020 IEEE 13th International Colloquium of Logistics and Supply Chain Management (LOGISTIQUA). Presented at the 2020 IEEE 13th International Colloquium of Logistics and Supply Chain Management (LOGISTIQUA), pp. 1–6. https://doi.org/10.1109/LOGISTIQUA49782.2020.9353939

Trstenjak, M., Cosic, P., 2017. Process Planning in Industry 4.0 Environment. Procedia Manuf. 11, 1744–1750. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.303

Tsai, Y.-S., Chen, ruey shun, Chen, Y.-C., Yeh, C.-P., 2013. An RFID-based manufacture process control and supply chain management in the semiconductor industry. Int. J. Inf. Technol. Manag. 12, 85–105. https://doi.org/10.1504/IJITM.2013.051633

Tseng, M.-L., Chiu, A.S.F., Liu, G., Jantaralolica, T., 2020. Circular economy enables sustainable consumption and production in multi-level supply chain system. Resour. Conserv. Recycl. 154, 104601. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104601

Tseng, M.-L., Wu, K.-J., Lim, M.K., Wong, W.-P., 2019. Data-driven sustainable supply chain management performance: A hierarchical structure assessment under uncertainties. J. Clean. Prod. 227, 760–771. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.201

Turner, C., Okorie, O., Emmanouilidis, C., Oyekan, J., 2022. Circular production and maintenance of automotive parts: An Internet of Things (IoT) data framework and practice review. Comput. Ind. 136, 103593. https://doi.org/10.1016/j.compind.2021.103593

Turner, C., Okorie, O., Emmanouilidis, C., Oyekan, J., 2020. A Digital Maintenance Practice Framework for Circular Production of Automotive Parts. IFAC-Pap., 4th IFAC Workshop on Advanced Maintenance Engineering, Services and Technologies - AMEST 2020 53, 19–24. https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2020.11.004

Ußler, H., Michler, O., Löffler, G., 2019. Validation of multiple sensor systems based on a telematics platform for intelligent freight wagons. Transp. Res. Procedia, 21st EURO Working Group on Transportation Meeting, EWGT 2018, 17th – 19th September 2018, Braunschweig, Germany 37, 187–194. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2018.12.182

Valentina, D.P., Valentina, D.S., Salvatore, M., Stefano, R., 2021. Smart operators: How Industry 4.0 is affecting the worker's performance in manufacturing contexts. Procedia Comput. Sci., Proceedings of the 2nd International Conference on Industry 4.0 and Smart Manufacturing (ISM 2020) 180, 958–967. https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.01.347

van der Vorst, J.G.A.J., Tromp, S.-O., Zee, D.-J. van der, 2009. Simulation modelling for food supply chain redesign; integrated decision making on product quality, sustainability and logistics. Int. J. Prod. Res. 47, 6611–6631. https://doi.org/10.1080/00207540802356747

van Geest, M., Tekinerdogan, B., Catal, C., 2021. Design of a reference architecture for developing smart warehouses in industry 4.0. Comput. Ind. 124, 103343. https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103343

Vargas, J., Lauras, M., Okongwu, U., Dupont, L., 2015. A decision support system for robust humanitarian facility location. Eng. Appl. Artif. Intell. 46. https://doi.org/10.1016/j.engappai.2015.06.020

Vázquez, X.H., Sartal, A., Lozano-Lozano, L.M., 2016. Watch the working capital of tier-two suppliers: a financial perspective of supply chain collaboration in the automotive industry. Supply Chain Manag. 21, 321–333. https://doi.org/10.1108/SCM-03-2015-0104

Vazquez-Martinez, G., González, J.L., Sosa-Sosa, V., Morales-Sandoval, M., Carretero, J., 2018. CloudChain: A novel distribution model for digital products based on supply chain principles. Int. J. Inf. Manag. 39, 90–103.

Vegter, D., van Hillegersberg, J., Olthaar, M., 2020. Supply chains in circular business models: processes and performance objectives. Resour. Conserv. Recycl. 162, 105046. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105046

Veile, J.W., Schmidt, M.-C., Voigt, K.-I., 2022. Toward a new era of cooperation: How industrial digital platforms transform business models in Industry 4.0. J. Bus. Res. 143, 387–405. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.11.062

Venkata Lakshmi, S., Janet, J., Kavitha Rani, P., Sujatha, K., Satyamoorthy, K., Marichamy, S., 2021. Role and applications of IoT in materials and manufacturing industries – Review. Mater. Today Proc., International Conference on Advances in Materials Research - 2019 45, 2925–2928. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.11.939

Vieira, A.A.C., Dias, L.M.S., Santos, M.Y., Pereira, G.A.B., Oliveira, J.A., 2019. Simulation of an automotive supply chain using big data. Comput. Ind. Eng. 137, 106033. https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.106033

Vinay Surendra Yadav, A.R. Singh, Rakesh D. Raut, Usharani Hareesh Govindarajan, 2020. Blockchain technology adoption barriers in the Indian agricultural supply chain: an integrated approach. Resour. Conserv. Recycl. 161, 104877-. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104877

Viskari, S., Kärri, T., 2013. A cycle time model for analysing the efficiency of working capital management in a value chain. Int. J. Bus. Perform. Supply Chain Model. 5, 221–238. https://doi.org/10.1504/IJBPSCM.2013.055727

Vlachos, I., 2015. Applying lean thinking in the food supply chains: A case study. Prod. Plan. Control 26, 1351–1367. https://doi.org/10.1080/09537287.2015.1049238

Vrchota, J., Pech, M., Rolínek, L., Bednář, J., 2020. Sustainability Outcomes of Green Processes in Relation to Industry 4.0 in Manufacturing: Systematic Review. Sustainability 12, 5968. https://doi.org/10.3390/su12155968

Vukadinovic, V., Majstorovic, V., Zivkovic, J., Stojadinovic, S., Djurdjanovic, D., 2021. Digital Manufacturing as a basis for the development of the Industry 4.0 model. Procedia CIRP, 54th CIRP CMS 2021 - Towards Digitalized Manufacturing 4.0 104, 1867–1872. https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.11.315

Wadgave, U., Khairnar, M.R., 2016. Parametric tests for Likert scale: For and against. Asian J. Psychiatry 24, 67–68. https://doi.org/10.1016/j.ajp.2016.08.016

Wagner, S.M., Silveira-Camargos, V., 2011. Decision model for the application of just-in-sequence. Int. J. Prod. Res. 49, 5713–5736. https://doi.org/10.1080/00207543.2010.505216

Wahab, S., Sayuti, N., Ab Talib, M.S., 2018. Antecedents of Green Warehousing: A Theoretical Framework and Future Direction. Int. J. Supply Chain Manag. 7, 382–388.

Wahlster, W., 2014. Semantic Technologies for Mass Customization, in: Wahlster, W., Grallert, H.-J., Wess, S., Friedrich, H., Widenka, T. (Eds.), Towards the Internet of Services: The THESEUS Research Program, Cognitive Technologies. Springer International Publishing, Cham, pp. 3–13. https://doi.org/10.1007/978-3-319-06755-1_1

Wakchaure, V.D., Nandurkar, K.N., Kallurkar, S.P., 2010. Enhancing manufacturing excellence through integrated manufacturing programme. Int. J. Integr. Supply Manag. 5, 376–400. https://doi.org/10.1504/IJISM.2010.035644

Waltho, C., Elhedhli, S., Gzara, F., 2019. Green supply chain network design: A review focused on policy adoption and emission quantification. Int. J. Prod. Econ. 208, 305–318. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.12.003

Wang, C., Zhang, Q., Zhang, W., 2020. Corporate social responsibility, Green supply chain management and firm performance: The moderating role of big-data analytics capability. Res. Transp. Bus. Manag. 37, 100557. https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2020.100557

Wang, G., Gunasekaran, A., Ngai, E.W.T., Papadopoulos, T., 2016. Big data analytics in logistics and supply chain management: Certain investigations for research and applications. Int. J. Prod. Econ. 176, 98–110. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.03.014

Wang, J., Yue, H., 2017. Food safety pre-warning system based on data mining for a sustainable food supply chain. Food Control 73, 223–229. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.09.048

Wang, L., Zhong, H., Ma, W., Abdel-Aty, M., Park, J., 2020. How many crashes can connected vehicle and automated vehicle technologies prevent: A meta-analysis. Accid. Anal. Prev. 136, 105299. https://doi.org/10.1016/j.aap.2019.105299

Wankhede, V.A., Vinodh, S., 2021. Analysis of Industry 4.0 challenges using best worst method: A case study. Comput. Ind. Eng. 159, 107487. https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107487

Weber, K.M., Heller-Schuh, B., Godoe, H., Roeste, R., 2014. ICT-enabled system innovations in public services: Experiences from intelligent transport systems. Telecommun. Policy, Special issue on : Selected papers from the 10th Conference in Telecommunications, Media and Internet Techno-economics 38, 539–557. https://doi.org/10.1016/j.telpol.2013.12.004

Wichmann, P., Brintrup, A., Baker, S., Woodall, P., McFarlane, D., 2018. Towards automatically generating supply chain maps from natural language text. IFAC-Pap., 16th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing INCOM 2018 51, 1726–1731. https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.207

Wisetsri, W., Donthu, S., Mehbodniya, A., Vyas, S., Quiñonez-Choquecota, J., Neware, R., 2022. An Investigation on the Impact of Digital Revolution and Machine Learning in Supply Chain Management. Mater. Today Proc., First International Conference on Design and Materials 56, 3207–3210. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.09.367

Wisner, J.D., Tan, K.-C., Leong, G.K., 2014. Principles of Supply Chain Management: A Balanced Approach. Cengage Learning.

Wong, E.Y.C., Tai, A.H., Zhou, E., 2018. Optimising truckload operations in third-party logistics: A carbon footprint perspective in volatile supply chain. Transp. Res. Part Transp. Environ. 63, 649–661. https://doi.org/10.1016/j.trd.2018.06.009

Wong, Y.J., Nakayama, R., Shimizu, Y., Kamiya, A., Shen, S., Muhammad Rashid, I.Z., Nik Sulaiman, N.M., 2021. Toward industrial revolution 4.0: Development, validation, and application of 3D-printed IoT-based water quality monitoring system. J. Clean. Prod. 324, 129230. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129230

Wu, A., Zhang, Y., Zheng, X., Guo, R., Zhao, Q., Zheng, D., 2019. Efficient and privacy-preserving traceable attribute-based encryption in blockchain. Ann. Telecommun. 74, 401–411. https://doi.org/10.1007/s12243-018-00699-y

Wu, Y., Ranasinghe, D.C., Sheng, Q.Z., Zeadally, S., Yu, J., 2011. RFID enabled traceability networks: a survey. Distrib. Parallel Databases 29, 397–443. https://doi.org/10.1007/s10619-011-7084-9

Xu, L., Wang, C., Zhao, J., 2018. Decision and coordination in the dual-channel supply chain considering cap-and-trade regulation. J. Clean. Prod. 197, 551–561. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.209

Xue, L., Zhang, Q., Zhang, X., Li, C., 2022. Can Digital Transformation Promote Green Technology Innovation? Sustainability 14, 7497. https://doi.org/10.3390/su14127497

Yadav, G., Luthra, S., Jakhar, S.K., Mangla, S.K., Rai, D.P., 2020a. A framework to overcome sustainable supply chain challenges through solution measures of industry 4.0 and circular economy: An automotive case. J. Clean. Prod. 254, 120112. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120112

Yadav, G., Luthra, S., Jakhar, S.K., Mangla, S.K., Rai, D.P., 2020b. A framework to overcome sustainable supply chain challenges through solution measures of industry 4.0 and circular economy: An automotive case. J. Clean. Prod. 254, 120112. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120112

Yager, R.R., Zadeh, L.A., 2012. An Introduction to Fuzzy Logic Applications in Intelligent Systems. Springer Science & Business Media.

Yang, H., Zigang, Z., Hongtao, Z., 2010. Research on risk ranking of participants involved in supply chain network: Applications of a NLP method based on multiplicative and fuzzy preference relations, in: 2010 2nd IEEE International Conference on Information Management and Engineering. pp. 421–425. https://doi.org/10.1109/ICIME.2010.5478092

Yang, J., Zhang, Z., Hong, M., Yang, M., Chen, J., 2020. An oligarchy game model for the mobile waste heat recovery energy supply chain. Energy 210, 118548. https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118548

Yang, L., Henthorne, T.L., George, B., 2020. Artificial Intelligence and Robotics Technology in the Hospitality Industry: Current Applications and Future Trends, in: George, B., Paul, J. (Eds.), Digital Transformation in Business and Society: Theory and Cases. Springer International Publishing, Cham, pp. 211–228. https://doi.org/10.1007/978-3-030-08277-2_13

Yildiz, H., Duhadway, S., Narasimhan, R., Narayanan, S., 2016. Production planning using evolving demand forecasts in the automotive industry. IEEE Trans. Eng. Manag. 63, 296–304. https://doi.org/10.1109/TEM.2016.2560162

Yin, K., Cai, F., Huang, C., 2022. How does artificial intelligence development affect green technology innovation in China? Evidence from dynamic panel data analysis. Environ. Sci. Pollut. Res. https://doi.org/10.1007/s11356-022-24088-0

Yu, Y., Zhang, J.Z., Cao, Y., Kazancoglu, Y., 2021. Intelligent transformation of the manufacturing industry for Industry 4.0: Seizing financial benefits from supply chain relationship capital through enterprise green management. Technol. Forecast. Soc. Change 172, 120999. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120999

Yuan, X., Anumba, C., Parfitt, M., 2015. Review of the Potential for a Cyber-Physical System Approach to Temporary Structures Monitoring. Int. J. Archit. Res. ArchNet-IJAR 9, 26–44. https://doi.org/10.26687/archnet-ijar.v9i3.841

Zadeh, L.A., Klir, G.J., Yuan, B., 1996. Fuzzy Sets, Fuzzy Logic, and Fuzzy Systems: Selected Papers. World Scientific.

Zailani, S., Govindan, K., Iranmanesh, M., Shaharudin, M.R., Sia Chong, Y., 2015. Green innovation adoption in automotive supply chain: the Malaysian case. J. Clean. Prod. 108, 1115–1122. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.06.039

Zaman, U.K. uz, Rivette, M., Siadat, A., Mousavi, S.M., 2018. Integrated product-process design: Material and manufacturing process selection for additive manufacturing using multi-criteria decision making. Robot. Comput.-Integr. Manuf. 51, 169–180. https://doi.org/10.1016/j.rcim.2017.12.005

Zhang, H., Sakurai, K., 2020. Blockchain for IoT-Based Digital Supply Chain: A Survey, in: Barolli, L., Okada, Y., Amato, F. (Eds.), Advances in Internet, Data and Web Technologies, Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies. Springer International Publishing, Cham, pp. 564–573. https://doi.org/10.1007/978-3-030-39746-3_57

Zhang, M., Kang, J., Tang, R., Xu, F., Fan, Y., Tang, X., Zhang, H., 2020. Sharing car park system for parking units of multiple EVs in a power market. Energy 212, 118489. https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118489

Zhang, W., He, Y., 2019. Optimal policies for new and green remanufactured short-life-cycle products considering consumer behavior. J. Clean. Prod. 214, 483–505. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.213

Zhang, Y., Chen, L., Battino, M., Farag, M.A., Xiao, J., Simal-Gandara, J., Gao, H., Jiang, W., 2022. Blockchain: An emerging novel technology to upgrade the current fresh fruit supply chain. Trends Food Sci. Technol. 124, 1–12. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.03.030

Zhao, D., Strotmann, A., 2015. Analysis and Visualization of Citation Networks. Synth. Lect. Inf. Concepts Retr. Serv. 7, 1–207. https://doi.org/10.2200/S00624ED1V01Y201501ICR039

Zhao, L., Brandao Machado Matsuo, I., Zhou, Y., Lee, W.-J., 2019. Design of an Industrial IoT-Based Monitoring System for Power Substations. IEEE Trans. Ind. Appl. 55, 5666–5674. https://doi.org/10.1109/TIA.2019.2940668

Zhao, W., Peng, Y., Xie, F., Dai, Z., 2012. Modeling and simulation of cloud computing: A review, in: 2012 IEEE Asia Pacific Cloud Computing Congress (APCloudCC). IEEE, Shenzhen, China, pp. 20–24. https://doi.org/10.1109/APCloudCC.2012.6486505

Zhong, S., Giannikas, V., Merino, J., McFarlane, D., Cheng, J., Shao, W., 2022. Evaluating the benefits of picking and packing planning integration in e-commerce warehouses. Eur. J. Oper. Res. 301, 67–81. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2021.09.031

Zhu, N., Zhao, H., 2018. IoT applications in the ecological industry chain from information security and smart city perspectives. Comput. Electr. Eng. 65, 34–43. https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2017.05.036

Zimmermann, H.-J., 2013. Fuzzy Set Theory — and Its Applications. Springer Science & Business Media.

Annexe 1

Le chapitre 2 vise à proposer un cadre conceptuel pour l'intégration de la technologie de l'IdO dans une supply chain automobile respectueuse de l'environnement, à identifier les pistes d'action potentielles et à classer les dangers potentiels qui peuvent apparaître au cours du processus d'incorporation, en utilisant une combinaison du modèle ReSOLVE et de la technique Delphi. Le tableau 27 concerne la rectification des parties prenantes et les facteurs connexes qui sont pris en compte dans le cadre proposé décrit à la figure A1.

Tableau 27: Rectifications des intervenants et facteurs connexes.

Numéro de série	Rectifications des intervenants	Facteurs connexes	Description succincte
1	Utilisateurs de dispositifs de l'IdO	Fabricants d'équipements d'origine/ Constructeurs automobiles	Transformer les installations de production en écosystèmes connectés à l'IdO pour augmenter la production, réduire les coûts et améliorer la qualité des produits.
		Concessionnaire/ Détaillant	L'IdO est utilisé par les détaillants pour l'engagement des consommateurs, la gestion du matériel, la gestion des stocks et le suivi de divers biens et services.
		Fournisseurs d'outils	Savoir plus précisément comment les marchandises sont stockées, où elles sont situées et quand les attendre ou les récupérer.
		Principal prestataire de services logistiques	Faciliter la gestion des niveaux de stock, le stockage des articles et la fourniture de services de gestion de flotte.
		Gestion des stocks	Fournir des informations à jour sur l'état, la localisation et le mouvement des marchandises.
		Régulateurs de l'IdO	Générer une variété d'avantages pour les consommateurs et la SCA en termes de sécurité et d'efficacité.
		Expéditeurs	Les matières premières de l'usine de fabrication et le suivi des ressources et des niveaux d'approvisionnement dans l'usine ou l'entrepôt.
2	Digitalisation des SCA grâce à l'IdO	Achat	Permettre aux SCA en ligne de suivre les commandes des clients depuis le moment où elles sont passées jusqu'à leur livraison à domicile.

		Approvisionnement	Offrir la possibilité d'envoyer des données sans qu'une interaction humaine ou informatique directe soit nécessaire.
		Pré-production	Aider les SCA à réduire leurs frais d'exploitation et à accroître leur productivité tout au long du processus de production.
		Inventaire de la production	Fournir des données en temps réel recueillies à partir des étiquettes de l'IDRF pour offrir une visibilité permanente de l'inventaire.
		Gestion des stocks	Recueillir des données, contrôler le flux des produits et permettre aux SCA de suivre facilement la position spécifique d'un produit.
		Logistique	Permettre l'intégration de différents actifs au sein de la SCA et l'analyse des données produites par ces connexions.
		Distribution et transport	Les données sont collectées et transmises par un logiciel spécialisé pour convertir les faits relatifs à l'événement réel en informations utiles
		Service après-vente	Prévenir les visites de réparation coûteuses et les pannes d'équipement frustrantes avant qu'elles ne se produisent.
3	Intégration de l'IdO et acquisition de données	Données télématiques	Accroître la capacité des managers de flotte à garder la main sur les conducteurs, l'utilisation des véhicules et les besoins de maintenance.
		Transactions	Augmente la fréquence d'analyse des données et permet d'améliorer les performances
		Détails des achats et des remises	Améliore l'utilisation des équipements et des fournitures pour les informations sur les achats et les remises et augmente la visibilité des dépenses.
		Données logistiques	Augmenter le rendement de la SCA tout en réduisant les dépenses et les erreurs
		Détails sur la fabrication en interne	Permet aux constructeurs automobiles d'utiliser les données plus efficacement et de renforcer l'intégration des systèmes pour obtenir une meilleure visibilité et une meilleure compréhension de leurs opérations.
		Données sur l'équipement	Aide les constructeurs automobiles à améliorer et à optimiser leurs processus grâce à une extraction précise des données.

		Données de qualité	La génération de données en temps réel permet d'améliorer les rapports opérationnels et offre une précision et une fiabilité accrues.
4	Contrats intelligents	Désintermédiation	Prévenir les erreurs humaines et garantir la production de preuves documentaires fiables
		Paiements transparents et rapides	Contribuer à améliorer la communication entre les parties prenantes, à accroître la vitesse et l'efficacité, et la SCA.
		Agilité	En utilisant des données réelles en temps réel, élimine les zones d'ombre de la supply chain et augmente l'agilité et la résilience des SCA.
		Efficacité	Fournit aux parties prenantes des données en temps réel sur la position et l'état de chaque actif, apportant transparence et précision à l'ensemble de la SCA.
		Environnements fiables	Réduire les déchets grâce à des dispositifs intelligents et des systèmes de gestion qui facilitent la récupération, la restauration et le recyclage des produits et réduisent les déchets au minimum.
		Visibilité	Permet aux parties prenantes d'échanger des informations cruciales en temps réel, en minimisant les perturbations.
		Résilience	Rapproche la prise de décision de l'action, ce qui permet de parvenir plus facilement à des décisions rapides, précises et fondées sur des faits.

(Source: Élaboration des auteurs)

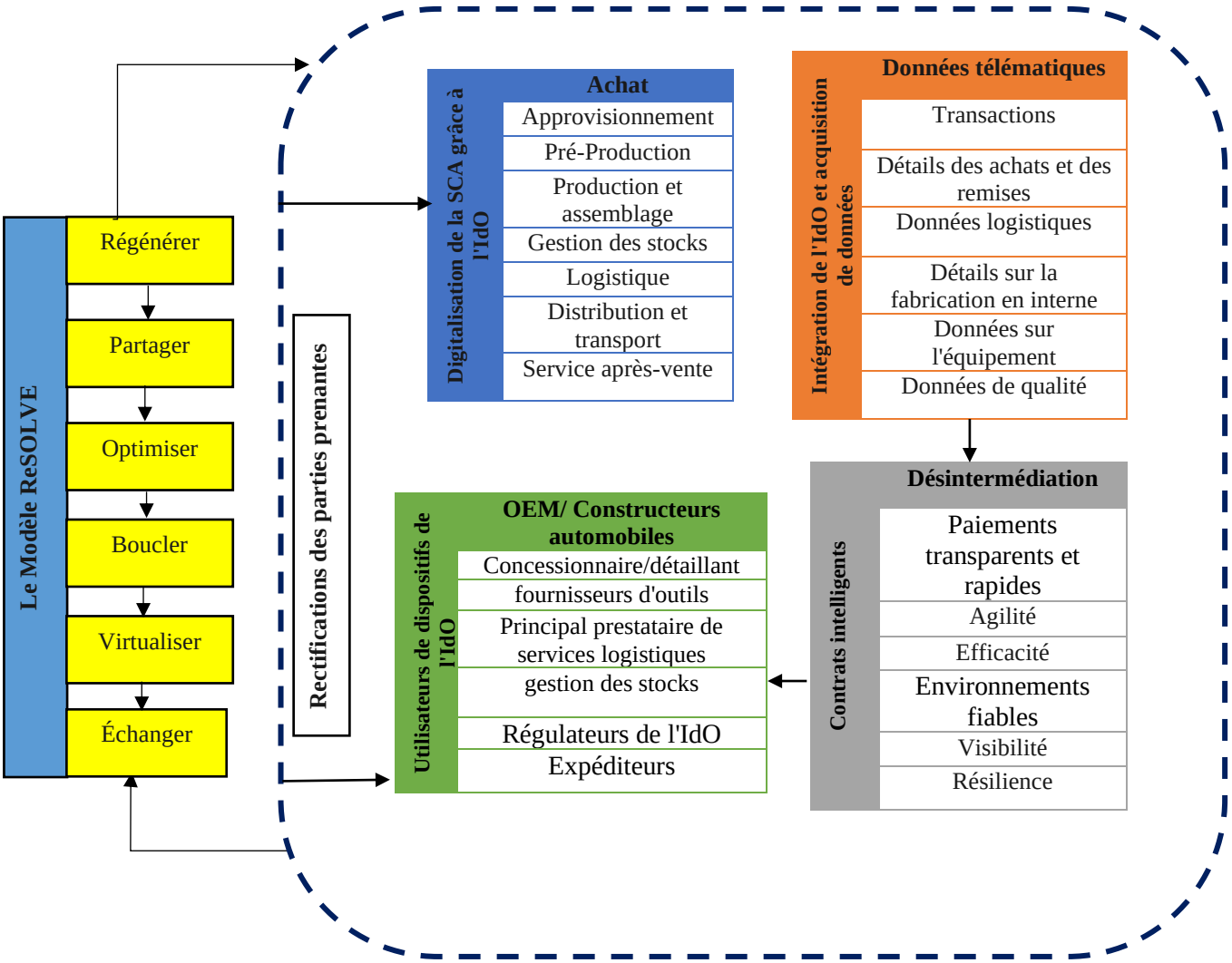


Figure 33: Le cadre propose de la mise en œuvre de l'IdO - SCA durable.

(Source: Élaboration des auteurs)

Annexe 2

Opération d'un ensemble flou

Dans l'ensemble non vide M qui désigne une collection d'objets m, un ensemble flou $\tilde{F}$ tiré de M est formulé comme suit (Atanassov, 1994, 1986) :

$$\tilde{F} = \{m, \varphi_F(m)\}, \quad m \in M \qquad \textbf{(1)}$$

Où $\varphi_F(m)$ est appelée la fonction d'appartenance de l'ensemble flou $\tilde{F}$. En d'autres termes, elle indique le degré et le grade de non-appartenance et d'appartenance de chaque élément m de M respectivement à l'intérieur de l'intervalle [0, 1]. Ainsi, plus la valeur de la fonction d'appartenance est proche de 1, plus le degré d'appartenance d'un élément est élevé s'il existe un ensemble flou $\tilde{F}$.

Dans ce sens, les nombres flous se présentent comme un sous-ensemble flou représenté par sa fonction d'appartenance semi-continue supérieure satisfaisant toutes les conditions :

$$Sup\ \tilde{F}[m]_{m_{\epsilon M}} = 1 \qquad \textbf{(2)}$$

$$\tilde{F}[\,\mu m_1 + (1-\mu)m_2] \geq min[F(m_1), F(m_2)] \qquad \textbf{(3)}$$

La fonction d'appartenance peut prendre de nombreuses formes telles que les fonctions d'appartenance gaussiennes, en cloche généralisée, trapézoïdales et triangulaires. Ces dernières sont les plus utilisées dans les applications réelles pour représenter les ensembles flous dans les études de conception et de gestion des SC. Par exemple, la fonction d'appartenance du nombre flou triangulaire $\varphi_F(m)$ est donnée par :

$$\varphi_F(m) = \begin{cases} 0, & m < 1 \\ \frac{m-1}{x-1}, & u \leq m \leq x \\ \frac{a-m}{a-x}, & x \leq m \leq a \\ 0, & m > a \end{cases} \qquad \textbf{(4)}$$

Où u est la limite minimale, x est la valeur prévue et a est la limite maximale du nombre.

Système d'inférence flou

Un système d'inférence flou est un système à base de règles dont les opérations sont liées à la théorie des ensembles flous. Ce système est conçu pour gérer la mise en correspondance non linéaire d'un espace d'entrée avec l'espace de sortie afin de résoudre des problèmes de prise de décision dans des cas réels. Il permet la structuration qui peut générer des réponses à des stimulations basées sur des connaissances préalables stockées sous forme de base de règles sur la corrélation entre les entrées et les sorties. Le SIF est un mécanisme qui utilise des règles SI-ALORS pour surmonter cette connaissance et qui, grâce à elles, peut être formulé pour assurer le contrôle des actions appropriées. Selon (Mamdani and Assilian, 1975; Ratnayake, 2014), le processus du SIF consiste à déduire les variables de sortie à partir des variables d'entrée sur la base de règles d'inférence logique en termes linguistiques existant dans la base de connaissances du système flou. Dans le cas d'un SIF où l'espace d'entrée est représenté par V = $V_1 \times V_2 \times \ldots \times V_n \subset R^n$ et U ⊂ R est l'espace de sortie. Les règles SI-ALORS floues sont utilisées ici par le SIF pour mettre en correspondance l'ensemble flou de l'espace d'entrée V ⊂ R^n avec les ensembles flous de l'espace de sortie U ⊂ R sur la base du principe des opérations floues. Les règles floues Si-Alors sont présentées comme suit (Balal et al., 2016) :

$R^{(1)}$: $IF\ m_1\ is\ A_1^z$ And . . . $M_n\ is\ A_n^z$; THEN q is E^z **(5)**

Où A_1^z et E^z représente des ensembles flous dans $V_n \subset R^n$, respectivement, m = ($m_1, m_2,$ $., m_n$) W ∈ V sont des éléments d'entrée, q ∈ U sont des variables de sortie et z = 1, 2, . . ., M est le nombre de règles du SIF. L'application réelle révèle que les règles SI-ALORS floues peuvent préparer un cadre de base de règles pour incorporer les connaissances des experts permettant l'intégration de tout type de données (qualitatives et quantitatives) dans un mode homogène (Bocaniala and Costa, 2006). Le fuzzificateur en entrée transforme les points clairs de V en ensembles flous et le fuzzifié transforme les ensembles flous de U en points clairs.

Le SIF classique de Mamdani

La méthode de Mamdani représente l'une des techniques d'inférence floue les plus couramment utilisées. Cette méthode a été proposée pour la première fois par Mamdani en 1975 et a été conçue pour contrôler une combinaison de chaudière et de moteur à vapeur sur la base d'un ensemble de règles de contrôle linguistiques issues de facteurs humains expérimentés (Mamdani and Assilian, 1975). Le SIF de Mamdani montre son avantage dans l'expression de la sortie, comme le montre la figure 34.

La technique d'inférence Min-Max est l'un des types du SIF de Mamdani. Pour la connexité logique "OR", la règle-s (maximum) est généralement formulée comme suit :

$\theta_x(m)\ OR\ \theta_y(m) = MAX\ \{\theta_x(m), \theta_y(m)\}$ **(6)**

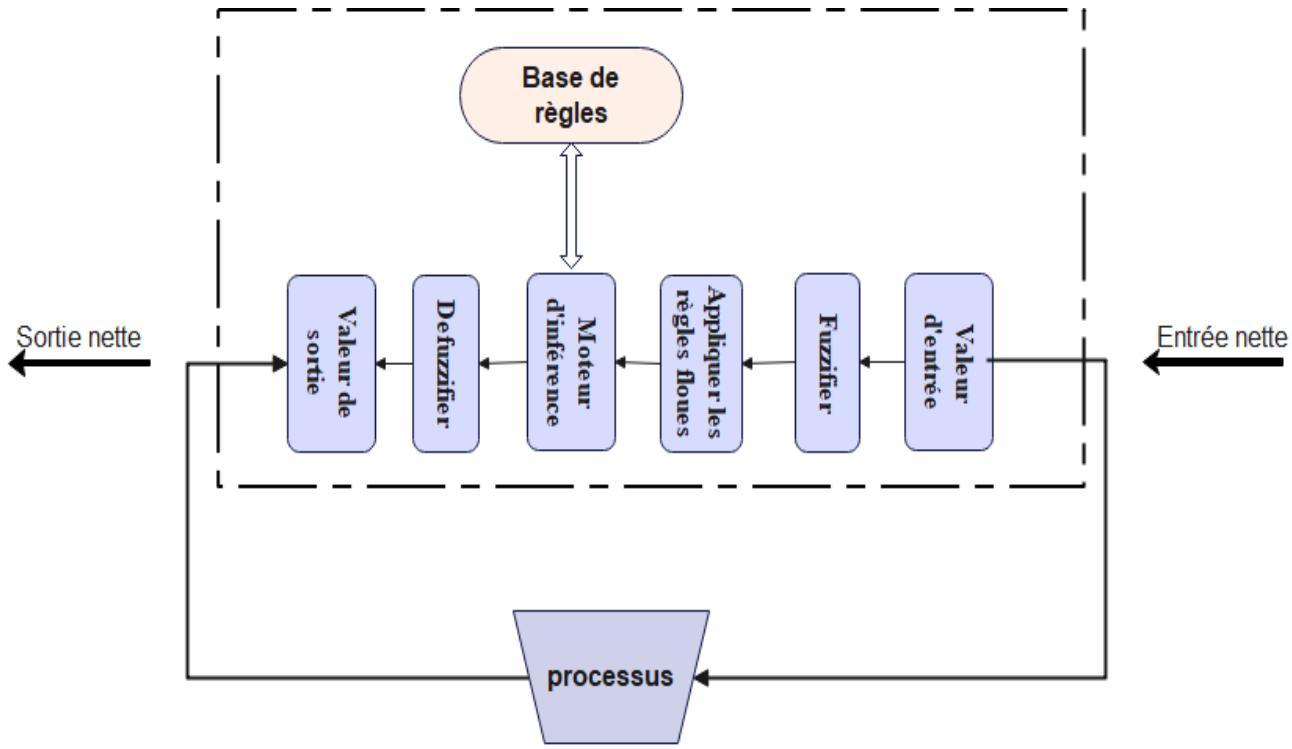


Figure 34: Le cadre du SIF de Mamdani.

(Source: Élaboration des auteurs)

D'autre part, la règle-t (minimum) est généralement obtenue pour le connecteur logique "AND" :

$$\theta_x(m)\ AND\ \theta_y(m) = MIN\left\{\theta_x(m), \theta_y(m)\right\} \quad \textbf{(7)}$$

L'opérateur Min-Max est représenté dans les équations suivantes (Zadeh et al., 1996) :

$$\theta_I(m,n) = MAX\{1\text{-}\theta_x(m), MIN\{\theta_x(m), \theta_y(m)\}\} \quad \textbf{(8)}$$

$$\theta_I(m,n) = \theta_x(m) * \theta_y(m) \quad \textbf{(9)}$$

Cette méthode est un opérateur de composition qui tend à expliquer le nombre flou de sortie de chaque règle et la relation d'implication (Pedrycz and Gomide, 2007) :

$$\text{QoI (m,n)= MAX}\left\{\text{MIN}(\theta_Q(m,n), \theta_I(n,p)\right\} \quad \textbf{(10)}$$

Ensuite, les résultats de chaque règle sont effectués pour obtenir les valeurs d'appartenance agrégées finales, qui consistent en la région floue agrégée. Le résultat de la méthode d'inférence de Mamdani à travers ces étapes est le suivant :

$$AGR(.) = MAX(\theta_{R_1}(m), \theta_{R_2}(m), \ldots, \theta_{R_n}(m)) \quad \textbf{(11)}$$

Ensuite, une formule de défuzzification est adoptée pour identifier le nombre net représentatif de la région floue agrégée. En général, la technique de défuzzification du centre de la zone (CdZ) est fréquemment utilisée, où n est le nombre de plots discrets de l'ensemble flou et $\theta_x(p)$ est la sortie agrégée de la fonction d'appartenance (FA).

$$\text{Centre de la zone } P_{CdZ} = \frac{\int_p \theta_x(P)\, P dp}{\int_p \theta_x(P)\, dp} \quad \textbf{(12)}$$