

Faculté des Sciences et Techniques
Settat

THÈSE DE DOCTORAT

*Pour l'obtention de grade de Docteur en **Génie Industriel et Logistique**.*

Formation Doctorale : physique et sciences de l'ingénieur

Spécialité : **Génie Industriel et Logistique**

Sous le thème :

**Modélisation et développement d'un système
multi-agents pour évaluer l'impact des pratiques
GSCM sur la performance globale.**

Présentée par :

DIF EL IDRISI Mohamed

Soutenue le : 19/01/2023

A la Faculté des Sciences et Techniques de Settat devant le jury composé de :

Pr. RIANE Fouad	PES	FST de SETTAT	Président
Pr. DACHRY Wafa	PH	FST de SETTAT	Rapporteur
Pr. SADDOUNE Mohammed	PES	FST de Mohammedia	Rapporteur
Pr. EL OUALIDI Moulay Ali	PH	ENSEM de Casablanca	Rapporteur
Pr. BENMOUSSA Rachid	PES	ENSA de Marrakech	Examineur
Pr. CHARKAOUI Abdelkadir	PH	FST de SETTAT	Directeur de thèse

Résumé

Au cours des dernières années, une attention accrue est accordée aux enjeux environnementaux vu que les scientifiques font appel à une utilisation rationalisée des ressources naturelles et de réduire en urgence l'impact environnemental des activités industrielles afin d'éviter des catastrophes naturelles. De ce fait, les entreprises doivent intégrer la pensée environnementale dans leurs orientations stratégiques afin d'atteindre un succès sociétal. Cependant, cette transition vers l'écologisation est loin d'être facile à cause de plusieurs obstacles de différente nature qui rendent ce processus encore plus compliqué. Pour cette raison, les chercheurs introduisent plusieurs concepts clés afin de bien gérer cette transition, notamment le Green Supply Chain Management (GSCM). Ce concept se traduit par un certain nombre de pratiques telles que la collaboration et la réglementation environnementale visant à couvrir plusieurs parties de la Chaîne Logistique. Les chercheurs suggèrent aussi de faire appel aux technologies de l'information afin de réussir la mise en œuvre de ces pratiques. En effet, les systèmes multi agents (SMA) font preuve d'une grande pertinence dans le traitement des sujets liés à toute la Chaîne Logistique y compris le GSCM. Ce travail de recherche vise à proposer un cadre de travail pratique afin de prendre des décisions durables en se basant sur une approche multi agents.

Les résultats de cette étude montrent que l'intégration des considérations environnementales, dans le cadre de la Chaîne Logistique aval choisie, ne génère pas un impact négatif sur la performance financière. De plus, il est prouvé que l'utilisation des SMA dans le GSCM présente un avantage réel pour faciliter la collaboration environnementale entre les partenaires de la Chaîne Logistique. Finalement, l'étude qualitative réalisée permet d'identifier les facteurs clés de mise en œuvre d'une stratégie GSCM dans le contexte du Covid 19.

Mots clés : SCM, GSCM, SMA et Covid 19.

Abstract

In recent years, increased attention has been paid to environmental issues as scientists call for a rational use of natural resources and urgently reduce the environmental impact of industrial activities to avoid natural disasters. Therefore, companies must integrate environmental thinking into their strategic orientations to achieve societal success. However, this transition to greening is not easy because of several obstacles of different nature that make this process even more complicated. For this reason, the researchers are introducing several key concepts to properly manage this transition, including Green Supply Chain Management (GSCM). This concept translates into several practices such as collaboration and environmental regulations aimed at covering several parts of the Supply Chain. The researchers also suggest using information technology to successfully implement these practices. Indeed, Multi Agent Systems (SMA) show great relevance in the treatment of subjects related to the entire Supply Chain including the GSCM. This research work aims to provide a practical framework for making sustainable decisions based on a multi-agent approach.

The results of this study show that the integration of environmental considerations, within the framework of the chosen downstream Supply Chain, does not generate a negative impact on financial performance. In addition, there is evidence that the use of SMAs in the GSCM has a real benefit in facilitating environmental collaboration between Supply Chain partners. Finally, the qualitative study carried out makes it possible to identify the key factors for implementing a GSCM strategy in the context of Covid 19.

Keywords: SCM, GSCM, SMA and Covid 19.

المخلص

في السنوات الأخيرة ، تم إيلاء اهتمام متزايد للقضايا البيئية حيث دعا العلماء إلى الاستخدام الرشيد للموارد الطبيعية وتقليل التأثير البيئي للأنشطة الصناعية بشكل عاجل من أجل تجنب الكوارث الطبيعية. لذلك ، يجب على الشركات دمج التفكير البيئي في توجهاتها الاستراتيجية من أجل تحقيق النجاح المجتمعي. ومع ذلك ، فإن هذا الانتقال ليس سهلاً على الإطلاق بسبب العديد من العوائق ذات الطبيعة المختلفة التي تجعل هذه العملية أكثر تعقيداً. لهذا السبب ، يقدم الباحثون العديد من المفاهيم الأساسية من أجل إدارة هذا الانتقال بشكل صحيح ، بما في ذلك إدارة سلسلة التوريد الخضراء (GSCM). يترجم هذا المفهوم إلى عدد من الممارسات مثل التعاون واللوائح البيئية التي تهدف إلى تغطية عدة أجزاء من سلسلة التوريد. يقترح الباحثون أيضاً استخدام تقنية المعلومات لتنفيذ هذه الممارسات بنجاح. في الواقع ، تُظهر الأنظمة متعددة الوكلاء (SMA) أهمية كبيرة في معالجة الموضوعات المتعلقة بسلسلة التوريد بأكملها . يهدف هذا العمل البحثي إلى توفير إطار عملي لاتخاذ قرارات مستدامة بناءً على نهج متعدد العوامل. تظهر نتائج هذه الدراسة أن تكامل الاعتبارات البيئية ، في إطار سلسلة التوريد النهائية المختارة ، لا ينتج عنه تأثير سلبي على الأداء المالي. بالإضافة إلى ذلك ، هناك دليل على أن استخدام تقنية المعلومات له فائدة حقيقية في تسهيل التعاون البيئي بين شركاء سلسلة التوريد. أخيراً ، تتيح الدراسة النوعية التي تم إجراؤها تحديد العوامل الرئيسية لتنفيذ استراتيجية في سياق جائحة كورونا

Dédicaces

Que ce travail témoigne de mes respects:

A mes parents:

Grâce à leurs tendres encouragements et leurs grands sacrifices, ils ont pu créer le climat affectueux et propice à la poursuite de mes études. Aucune dédicace ne pourrait exprimer mon respect, ma considération et mes profonds sentiments envers eux. Nous prions le bon Dieu de les bénir, de veiller sur eux, en espérant qu'ils seront toujours fiers de moi.

A ma femme et ma petite fille :

Ils vont trouver ici l'expression de mes sentiments de respect et de reconnaissance pour le soutien qu'ils n'ont cessé de me porter.

A tous mes professeurs :

Leur générosité et leur soutien m'oblige de leurs témoigner mon profond respect et ma loyale considération.

A tous mes amis et mes collègues :

Ils vont trouver ici le témoignage d'une fidélité et d'une amitié infinie.

Remerciements

« Louange à Dieu le tout-Puissant pour ses bénédictions. »

Avant de commencer la présentation de ce travail, je profite de l'occasion pour remercier toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce projet de recherche.

J'adresse mes profonds remerciements à notre grand et respectueux Professeur, Monsieur Abdelkabir CHARKAOUI, pour son soutien, ses remarques pertinentes et son encouragement. Veuillez trouver ici le témoignage de mon respect le plus profond.

Je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance et toutes mes pensées de gratitude au professeur Monsieur Abdelouahed ECHCHATBI, Directeur du laboratoire Ingénierie, Management Industriel et Innovation, pour sa disponibilité et tous les conseils précieux qu'ils m'a prodigué tout au long de la réalisation de ce projet.

Je remercie également Monsieur Bouchaib BENCHARKI, Directeur du pôle doctoral de l'Université Hassan Premier et Monsieur AbdelKahlid ESSAMADI, Directeur du centre des études doctorales de la FST de Settat pour leur accompagnement afin d'assurer un bon déroulement de ce projet de recherche et une formation doctorale de qualité.

Je tiens à remercier chaleureusement Monsieur Fouad RIANE, Professeur à la FST de Settat de m'avoir fait l'honneur de présider le jury de cette thèse. Mes remerciements vont aussi à Madame Wafa DACHRY, Professeur à la FST de Settat, Monsieur Mohammed SADDOUNE, Professeur à la FST de Mohammedia et Monsieur Moulay Ali EL OUALIDI, Professeur à l'ENSEM de Casablanca, d'avoir accepté de rapporter ces travaux de thèse. J'adresse aussi mes vifs remerciements à Monsieur Rachid BENMOUSSA, Professeur à l'ENSA de Marrakech d'avoir accepté d'examiner ces travaux de thèse.

Mes remerciements vont aussi à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation et l'aboutissement de ce projet de recherche.

Liste des abréviations

ACC	Agent Communication Channel
ACL	Agent Communication Langage
AFNOR	Association Française de Normalisation
AMA	American Marketing Association
BDI	Belief, Desire, Intent
CO2	Carbon Dioxide
COP22	Conférence des Nations Unies sur le changement climatique
Covid	Corona Virus
DMARS	Système de raisonnement multi-agents distribué
DRP	Distribution Resource Planning
EDI	Electronic Data Interchange
EMS	Système de Management Environnemental
ERP	Enterprise Resource Planning
FIPA	Foundation for Intelligent Physical Agents
FMI	Fonds Monétaire International
GES	Gaz à Effet de Serre
GSCM	GSCM
HMS	Systèmes de fabrication holonique
InteRRaP	Integration of Reactive Behavior and Rational Planning
IPL	Indice de Performance Logistique
IRMA	Intelligent Resource Limited Machine Architecture

ISO	International Organization for Standardization
JADE	Java Agent Development Framework
KAGR	Knowledge, Action, Goal, React
KQML	Knowledge Query Manipulation Language
MALLET	Langage logique multi-agents pour l'encodage du travail d'équipe
MANTA	Modélisation des activités ANThill
MCDM	Mlultiple Criteria Decision Making
MRP	Material Requirements Planning
MRPII	Manufacturing Resource Planning
PDG	Président Directeur General
PME	Petites et Moyennes Entreprises.
PRS	Process Reasoning System
RETSINA	Environnement de tâches réutilisables
RSC	Chaîne Logistique inverse
RSE	Responsabilité Sociétale des Entreprises
SCM	Supply Chain Management
SMA	Systèmes Multi Agents
SWARA	Stepwise Weight Assessment Ratio Analysis
WIP	Work In Process

Liste des tableaux

<i>Tableau 1. Définitions de la Chaîne Logistique</i>	10
<i>Tableau 2. Définitions du SCM</i>	20
<i>Tableau 3. Définitions du GSCM</i>	25
<i>Tableau 4. Pratiques du GSCM</i>	31
<i>Tableau 5. Obstacles de mise en œuvre du GSCM</i>	35
<i>Tableau 6. Travaux du GSCM dans un contexte Marocain</i>	36
<i>Tableau 7. Définitions d'un agent</i>	39
<i>Tableau 8. Comparaison entre agents cognitifs et agents réactifs (Hassaine, 2009)</i>	42
<i>Tableau 9. Composants d'un modèle de négociation</i>	48
<i>Tableau 10. Comparaison des plateformes de développement des SMA</i>	52
<i>Tableau 11. Travaux de recherche de l'application des SMA dans le contexte du GSCM</i>	55
<i>Tableau 12. Rôles et responsabilités des agents</i>	62
<i>Tableau 13. Interactions entre les différents agents</i>	63
<i>Tableau 14. Répartition des coûts</i>	63
<i>Tableau 15. Coûts de transport unitaires</i>	67
<i>Tableau 16. Distances</i>	67
<i>Tableau 17. Coût environnemental unitaire</i>	67
<i>Tableau 18. Coût de stockage unitaire</i>	67
<i>Tableau 19. Résultat du sous modèle mathématique</i>	68
<i>Tableau 20. Les coûts de négociation</i>	68
<i>Tableau 21. Comparaison entre les 3 scénarios</i>	78
<i>Tableau 22. Aspects de l'ouverture des SMA</i>	81
<i>Tableau 23. Comparaison des modèles d'ouverture des SMA</i>	88
<i>Tableau 24. Description du comportement des agents</i>	98
<i>Tableau 25. Comparaison des coûts totaux des trois scénarios</i>	101
<i>Tableau 26. Le GSCM et le Covid 19</i>	104
<i>Tableau 27. Facteurs de mise en œuvre du GSCM dans le contexte du Covid 19</i>	109
<i>Tableau 28. Panel d'experts choisi</i>	110
<i>Tableau 29. Pondération des critères principaux</i>	113

Tableau 30. <i>Pondération des sous critères.....</i>	<i>113</i>
Tableau 31. <i>Poids globaux de tous les critères.</i>	<i>114</i>
Tableau 32. <i>Résultats de la methode SWARA selon les critères principaux.....</i>	<i>154</i>
Tableau 33. <i>Résultats de la methode SWARA selon les sous critères</i>	<i>155</i>

Liste des figures

Figure 1. Hypothèses de recherche	3
Figure 2. Les activités de la logistique (Savy 2006).....	7
Figure 3. Acteurs de la logistique (Maxime Ogier 2013).....	8
Figure 4. Structure en série	11
Figure 5. Structure dyadique	11
Figure 6. Structure divergente.....	12
Figure 7. Structure Convergente	12
Figure 8. Structure réseau.....	12
Figure 9. Flux logistiques.....	13
Figure 10. Modèle de Porter (Porter, 1986)	14
Figure 11. Modèle de Cooper (Cooper, 1997).....	15
Figure 12. Modèle de Glimour (Glimour, 1991).....	15
Figure 13. Modèle SCOR (SCOR, 2012).....	16
Figure 14. Modèle de Supply Chain Masters (Supply Chain Masters 2011).....	18
Figure 15. Evolution des travaux de recherche sur le GSCM.....	24
Figure 16. Structure du GSCM de l'industrie automobile (Srivastava, 2007).....	26
Figure 17. Structure du GSCM de l'industrie électronique (Ninlawan et al., 2010).....	27
Figure 18. Stratégies de gestion de produits en fin de vie.....	29
Figure 19. Facteurs de réussite de la mise en œuvre du GSCM (Preuss, 2005).....	33
Figure 20. Agent réactif.....	40
Figure 21. Agent cognitif.....	41
Figure 22. Agent hybride.....	43
Figure 23. Structure d'un système multi agents (Ferber, 1995)	44
Figure 24. Chaîne Logistique aval et point de découplage (Hoekstra et Romme, 1992).....	58
Figure 25. Flux de travail du SMA proposé	60
Figure 26. Structure SMA.....	61
Figure 27. Flux de travail du sous modèle proposé	64
Figure 28. Coût total du scénario 1.....	69
Figure 29. Protocole de négociation du scénario 2	70

Figure 30. <i>Modèle de référence de FIPA (FIPA, 1997)</i>	72
Figure 31. <i>Simulation des agents sur JADE pour le scénario 2</i>	73
Figure 32. <i>Coût total du scénario 2</i>	74
Figure 33. <i>Protocole de négociation du scénario 3</i>	75
Figure 34. <i>Simulation des agents sur JADE pour le scénario 3</i>	77
Figure 35. <i>Coût total du scénario 3</i>	78
Figure 36. <i>Graphe évolutif structurel</i>	94
Figure 37. <i>Graphe évolutif fonctionnel</i>	97
Figure 38. <i>Simulation sur la plateforme JADE</i>	100
Figure 39. <i>Evolution du coût total pour les trois scénarios</i>	100
Figure 40. <i>Méthode recherche choisie</i>	106
Figure 41. <i>Les travaux de recherches publiés sur les termes choisis</i>	107
Figure 42. <i>Procédure de la méthode SWARA. (Prajapati et al., 2019)</i>	112
Figure 43. <i>Synthèse de l'étude qualitative</i>	116

Sommaire

Dédicaces	I
Remerciements	II
Liste des abréviations	III
Liste des tableaux	V
Liste des figures	VII
Introduction générale	1
1 Enjeux et contexte.....	1
2 Problématique	2
3 Méthodologie de recherche.....	3
4 Plan du manuscrit de thèse.....	4
Chapitre I : Revue de littérature de la Chaîne Logistique et du GSCM.....	5
Introduction	5
1 Concept de la logistique.....	6
1.1 Origines et définition de la logistique	6
1.1.1 Origines du mot logistique	6
1.1.2 Définition du mot logistique	6
1.2 Les activités de la logistique.....	7
1.3 Les acteurs de la logistique.....	8
2.1 Origines et définition de la Chaîne Logistique.....	9
2.2 Structure de la Chaîne Logistique:	11
2.3 Flux de la Chaîne Logistique:.....	13
2.4 Modélisation de la Chaîne Logistique:.....	13
2.4.1 Approche processus	14
2.4.1.1 Modèle de Porter :.....	14
2.4.1.2 Modèle de Cooper :.....	14
2.4.1.3 Modèle de Glimour :.....	15
2.4.1.4 Modèle de SCOR :.....	16
2.4.2 Approche par référentiel d’audit	17
2.4.2.1 Référentiel ASLOG	17

2.4.2.2	Référentiel EVALOG	17
2.4.2.3	Référentiel WCL.....	17
2.4.2.4	Référentiel Supply Chain Masters	17
2.4.3	Modélisation dynamique /distribuée de la Chaîne Logistique	18
2.4.3.1	Systèmes multi agents.....	18
2.4.3.2	Réseaux de Petri.....	18
2.4.3.2.1	Réseaux de Petri stochastiques	18
2.4.3.2.2	Réseaux de Petri continus	19
3.1	Définitions et origines	19
3.1.1	Définitions.....	19
3.1.2	Origines du SCM.....	21
3.2	Les modes de pilotage	22
3.3	Les structures décisionnelles au sein de la Chaîne Logistique.....	23
3.3.1	Structure centralisée	23
3.3.2	Structure décentralisée (distribuée).....	23
4	Concept du GSCM et les concepts voisins	23
4.1	Définitions du GSCM.....	24
4.2	Structure et Composantes du GSCM.....	26
4.2.1	Conception écologique.....	27
4.2.2	Achat vert	28
4.2.3	Fabrication écologique	28
4.2.4	Gestion des déchets	28
4.2.5	Logistique inversée	29
4.2.6	Logistique verte.....	30
4.3	Pratiques GSCM.....	30
4.4	Facteurs clés de succès et obstacles.....	32
4.4.1	Facteurs de réussite	32
4.4.1.1	Facteurs internes	33
4.4.1.2	Facteurs externes.....	33
4.4.2	Obstacles	34

5	Le GSCM dans le contexte marocain.....	36
5.1	Etat des lieux.....	36
5.2	Politique gouvernementale.....	37
	Conclusion.....	38
	Chapitre II : la modélisation des SMA et le GSCM.....	38
	Introduction.....	38
1	Le concept d'agent.....	39
1.1	Définition d'un agent.....	39
1.2	Modèles d'agent.....	40
1.2.1	Agents réactifs.....	40
1.2.2	Agents Cognitifs.....	41
1.2.3	Agents Hybrides.....	42
2	SMA.....	43
2.1	Définition.....	43
2.2	Interactions entre agents.....	44
2.2.1	Coordination.....	45
2.2.2	Collaboration.....	46
2.2.3	Coopération.....	46
2.2.4	Négociation.....	47
2.3	Communication des agents.....	48
2.3.1	Actes de langage :.....	49
2.3.2	Langages de communication.....	49
2.4	Méthodologies de conception d'un SMA.....	50
2.4.1	Les extensions d'approches orientées objets.....	50
2.4.2	Les approches dérivées de l'ingénierie de la connaissance :.....	50
2.4.3	Les méthodes moins centrées sur la notion de système multi-agents :.....	50
2.5	Les plateformes des SMA.....	51
3	Les SMA et la Chaîne Logistique.....	52
3.1	Analogie entre SMA et la Chaîne Logistique.....	52
3.2	Les SMA et le GSCM.....	54
	Conclusion.....	56
	Chapitre III : Etude de cas d'une Chaîne logistique aval dans l'industrie automobile.....	57

Introduction.....	57
1 La Chaîne Logistique aval	58
2 Contexte d'étude considéré.....	59
3 Etude de cas	60
3.1 Modèle SMA proposé.....	60
Demander les données d'allocation de livraison au DBA	63
3.2 Sous-modèle de livraison	63
3.2.1 Définition du problème	64
3.2.2 Formulation du modèle	64
3.3 Processus de négociation.....	68
3.3.1 Scénario 1 : négociation basique.....	68
3.3.2 Scénario 2 : Négociation environnementale.....	69
3.3.2.1 L'algorithme de négociation.....	70
3.3.2.2 Description de l'algorithme du scénario 2.....	71
3.3.2.3 Simulation de l'algorithme du scénario 2	72
3.3.3 Scénario 3 : négociation environnementale et ajustement de la quantité.....	74
3.3.3.1 Algorithme de négociation du scénario3	75
3.3.3.2 Description de l'algorithme de négociation du scénario3.....	76
3.3.3.3 Simulation de l'algorithme du scénario 3	77
Conclusion.....	79
Chapitre IV : Ouverture et l'adaptabilité des SMA. Application au cas d'étude considéré	79
Introduction.....	79
1 Ouverture des SMA	80
2 Modélisation de l'ouverture des SMA.....	81
2.1 Modèles de structure.....	81
2.1.1 Gestion de l'ouverture	82
2.1.2 Conception d'ouverture	82
2.1.3 Évaluation de l'ouverture.....	83
2.2 Modèles fonctionnels.....	83
2.2.1 La conception de SMA ouvert	84
2.2.2 Analyse des propriétés internes ouvertes SMA	84

2.2.3	Prise de décision.....	85
2.2.4	Détection d'anomalies	85
2.2.5	Vérification de la stabilité	86
2.3	Modèles interactionnels.....	86
2.3.1	Modélisation de confiance et de réputation.....	86
2.3.2	Vérification de la conformité des agents.....	87
2.3.3	Représentation des échanges de connaissances	88
2.4	Modèles génériques pour étudier l'ouverture des SMA.....	89
2.4.1	Graphes évolutifs	89
2.4.2	Graphe évolutif générique pour modéliser l'ouverture du SMA.....	90
2.4.2.1	La première couche : un graphe structurel évolutif	90
2.4.2.2	La deuxième couche : graph évolutif fonctionnel	91
3	Etude de cas	93
3.1	Première couche: graphe évolutif structurel.....	93
3.2	Deuxième couche : graphe évolutif fonctionnel et interactionnel.....	95
4	Résultats et interprétation	100
5	Synthèse.....	Error! Bookmark not defined.
	Conclusion.....	102
	Chapitre V : Les nouveaux défis du GSCM dans le contexte du Covid 19. Cas du Maroc.....	102
	Introduction.....	102
1	La crise sanitaire du Covid 19	103
2	Le GSCM et le Covid 19 :	103
3	L'analyse des facteurs clés de mise en œuvre du GSCM dans le contexte du Covid 19.	105
3.1	Méthodologie de recherche	106
3.2	Revue de de littérature.....	106
3.2.1	La collaboration dans le contexte du Covid 19.....	107
3.2.2	La digitalisation de la Chaîne Logistique dans le contexte du Covid 19 :.....	108
3.2.3	La législation et les politiques environnementales.....	108
3.2.4	L'environnement de la Chaîne Logistique dans le contexte du Covid 19	108
3.3	Etude de cas	110
3.3.1	Panel d'experts choisi	110
3.3.2	Collecte des données :	111

3.3.3	Méthode SWARA	111
3.3.4	L'utilisation de la méthode SWARA :	113
3.4	Résultats et synthèse	114
	Conclusion.....	118
	Conclusion Générale	119
1	Rappel de la problématique	119
2	Apports.....	120
2.1	Apports scientifiques	120
2.2	Apports méthodologiques.....	120
2.3	Apports managériaux.....	121
3	Perspectives de développement	121
	References	123
	Annexe 1 : Programme JAVA	144
	Annexe 2 : Résultats de la méthode SWARA.....	154

Introduction générale

1 Enjeux et contexte

Afin d'être plus compétitives dans un marché hautement mondialisé, les organisations commencent à étendre leurs Chaînes Logistiques à travers de grands investissements dans le monde entier. Cette situation augmente considérablement la demande des ressources naturelles nécessaires pour toutes les activités industrielles. En outre, avec une attention croissante de la part des clients, des parties prenantes, de la législation gouvernementale et des organisations environnementales, les entreprises sont poussées à prendre en compte les impacts environnementaux de leurs activités.

Tous ces appels internes et externes à la réduction d'impact environnemental et à l'utilisation rationalisée des ressources naturelles conduisent les entreprises à réfléchir à mettre en œuvre une gestion verte dans leurs Chaînes logistiques traduites par plusieurs stratégies comme le GSCM (GSCM).

Le GSCM est un domaine d'études qui connaît beaucoup d'évolution dans la littérature pendant les dernières années, en effet le développement durable ou les enjeux sociaux et environnementaux dans la Chaîne Logistique sont devenues l'une des principales préoccupations des chercheurs. Plusieurs publications scientifiques mettent en exergue l'importance d'adoption des pratiques GSCM et leurs impacts sur la performance financière, environnementale et sociale de toute la Chaîne Logistique.

L'adoption des stratégies GSCM est plein d'obstacles de différents natures comme les obstacles financiers, technologique et de connaissance. De plus, elle implique un large éventail d'activités nécessitant l'expertise et la collaboration de tous les partenaires de la Chaîne Logistique y compris les fournisseurs, les clients, les gouvernements ainsi que les organisations environnementales.

Plusieurs études concluent que l'utilisation des technologies de communications avancées est très utile pour améliorer le niveau de collaboration et d'intégration entre les différents partenaires la Chaîne Logistique. En plus, les relations basées sur la technologie d'information et l'intégration d'information peuvent améliorer les niveaux de performance dans une Chaîne Logistique. Pour cette raison, plusieurs systèmes basés sur la technologie SMA sont utilisés pour faciliter la collaboration et l'échange d'information entre les partenaires de la Chaîne Logistique. Un SMA

peut être défini comme étant un système d'agent multiples qui peuvent travailler et interagir collectivement pour résoudre des problèmes qui dépassent leurs capacités individuelles.

Le contexte de ce projet de thèse est de répondre à une problématique de mise en œuvre d'un modèle de collaboration GSCM basée sur les SMA qui facilitent l'échange d'information afin de permettre aux décideurs de la Chaîne Logistique de prendre des décisions plus durables dans un contexte aussi compliqué que celui du Covid 19.

2 Problématique

Malgré le grand nombre d'études réalisées sur la mise en place du GSCM ainsi que son impact sur les différents niveaux de la performance dans une Chaîne Logistique, les chercheurs appellent toujours à une analyse plus approfondie et nuancée de cette relation en prenant en compte d'autres paramètres clés tel que la collaboration environnementale. Cette dernière est de plus en plus reconnue comme étant une approche de gestion très importante car les parties prenantes de la Chaîne Logistique rencontrent généralement des difficultés pour adopter des concepts innovateurs et écologiques sans engagement de la mise en œuvre de la part de leurs partenaires. La collaboration environnementale avec les clients est aussi très importante car le client joue un rôle majeur dans la mise en œuvre du GSCM. En effet, plusieurs entreprises adoptent des certifications comme le ISO 14001 à la suite d'un suivi environnemental des clients.

Le deuxième paramètre clé qui peut modérer cette relation entre le GSCM et la performance d'une Chaîne Logistique est l'aspect législatif. Les pressions institutionnelles ainsi que les réglementations environnementales imposées par les gouvernements de plusieurs pays à travers le monde sont l'un des facteurs les plus importants qui encouragent les entreprises à adopter le GSCM.

La problématique de ce projet de thèse s'articule autour de l'analyse de la relation entre les pratiques GSCM et la performance de la Chaîne Logistique dans le contexte de la pandémie mondiale Covid 19. Il est à noter que seulement les dimensions économiques et environnementale de la performance sont considérées dans le cadre de cette étude.

La figure 1 illustre le modèle de recherche choisi pour cette étude. Il s'agit d'une relation entre le GSCM et la performance économique et financière modérée par deux paramètres clés qui sont la

collaboration environnementale et les pressions institutionnelles. De plus, une analyse de l'impact de la crise sanitaire Covid 19 sur la mise en œuvre du GSCM est aussi étudiée.

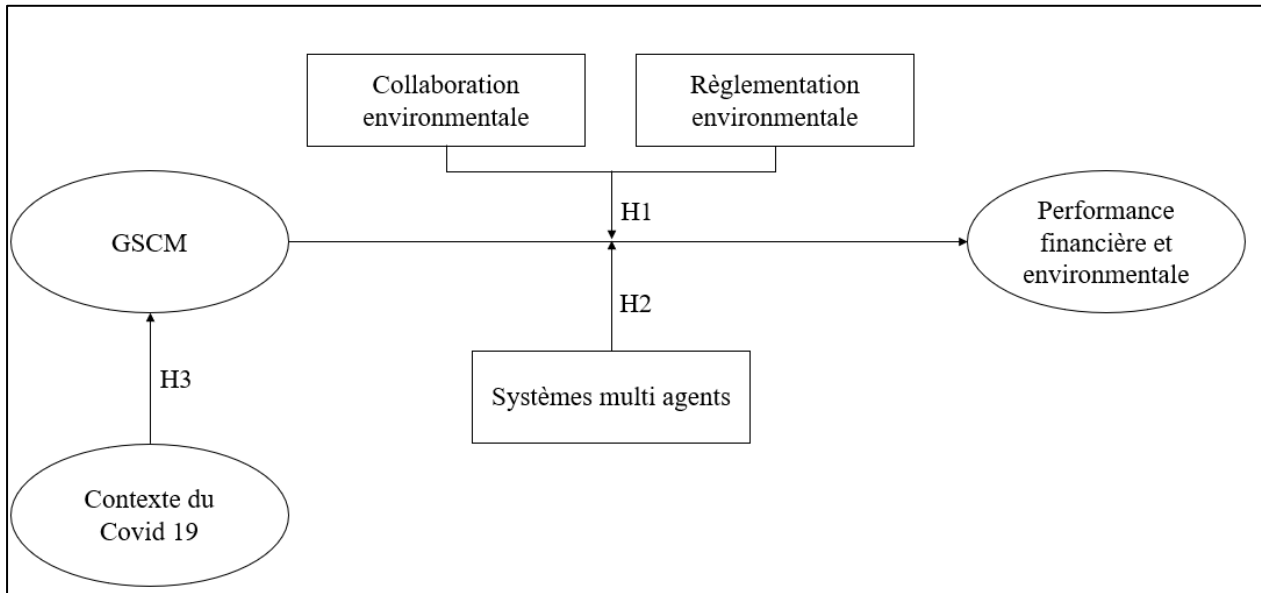


Figure 1.Hypothèses de recherche

Trois hypothèses sont identifiées et vérifiées tout au long de ce projet de recherche. Ces hypothèses sont les suivantes :

H1 : La mise en place du GSCM à travers la collaboration environnementale et la réglementation environnementale a un impact positif sur la Performance financière et environnementale.

H2 : L'utilisation des SMA facilite le processus de collaboration environnementale.

H3 : le contexte du Covid 19 identifie de nouveaux facteurs à considérer pour la mise en œuvre du GSCM.

3 Méthodologie de recherche

La méthodologie de recherche choisie suit une approche déductive. Elle commence d'abord par une étude critique de l'état de l'art afin de constituer une vision globale sur le thème de la recherche. Cette étude bibliographique est suivie par le développement d'un nouveau modèle visant à simuler la capacité des SMA à traiter les sujets de durabilité. Les résultats de ce modèle sont testés et validés à travers une étude de cas d'une Chaîne logistique aval dans le secteur automobile. Afin de rendre ce modèle plus générique et configurable, l'ouverture et l'adaptabilité

de celui-ci est présenté. Finalement, une étude qualitative est réalisée afin d'identifier les facteurs clés de réussite de mise en œuvre du GSCM dans le contexte du Covid 19, en se basant sur une méthodologie de recherche action intervention ou plusieurs experts du domaine sont sollicités afin de contribuer aux résultats de cette recherche.

4 Plan du manuscrit de thèse

Le manuscrit de cette thèse s'articule autour de cinq chapitres.

Le premier chapitre introduit d'une part une revue de littérature sur la Chaîne Logistique, sa structure, sa typologie ainsi que son évolution, et d'autre part le GSCM en étudiant ses pratiques et sa relation avec la performance de la Chaîne Logistique. Cette étude bibliographique est complétée par l'étude du rôle de la collaboration dans la Chaîne Logistique.

Le deuxième chapitre présente la modélisation du GSCM et il se focalise sur les concepts de base du domaine multi agents et expose les principales caractéristiques des SMA. De plus, il présente aussi l'utilisation et l'apport des SMA dans les Chaînes logistiques ainsi que dans le GSCM. Cette étude permet de justifier le choix méthodologique du modèle développé. Le troisième chapitre décrit l'architecture multi agent conçue pour cette étude en précisant les agents sélectionnés, leur environnement, leur protocole de communication et d'interaction ainsi que leurs modèles de raisonnement basé sur la programmation linéaire multi objectives. Ensuite, le modèle développé est testé et validé à travers une étude de cas pour une Chaîne Logistique aval. Les résultats sont présentés et interprétés. Le quatrième chapitre vise à étudier le concept de l'ouverture des SMA afin de généraliser les résultats trouvés dans le modèle présenté dans le chapitre précédent. Ensuite, le cinquième chapitre expose une analyse qualitative de la nature de relation entre le GSCM et la pandémie Covid 19 dans un contexte Marocain.

Le présent manuscrit est clôturé par une conclusion et quelques perspectives intéressantes à explorer en continuité de cette thèse.

Chapitre I : Revue de littérature de la Chaîne Logistique et du GSCM

Introduction : Dans ce chapitre, une revue de littérature sur les différents concepts clés de l'organisation et du SCM est présentée. En effet, un aperçu sur les définitions des termes logistique et la Chaîne Logistique est donné, ensuite une analyse du SCM, son évolution, sa structure et ses modes de pilotage est présentée. Enfin, le concept du GSCM est exposé à travers ses définitions, ses processus, ses pratiques, ses facteurs clés ainsi que les obstacles liés à sa mise en œuvre.

1 Concept de la logistique

1.1 Origines et définition de la logistique

1.1.1 Origines du mot logistique

La logistique est une notion multidimensionnelle qui a évolué à travers le temps. Le mot logistique provient du mot grec « logistikos » qui signifie l'art du raisonnement et du calcul (Le Robert, 2000). Il a aussi une origine militaire qui se traduit par les moyens et méthodes d'organisation matérielle. Vers la fin de la seconde guerre mondiale, Le concept de logistique est apparu pour la première fois avec la reconversion d'anciens soldats en logisticiens qualifiés (Akbari Jokar et al., 2000). L'apparition du concept de la logistique est également liée au taylorisme. En effet, Taylor a essayé de mettre en place une organisation avec un meilleur niveau de productivité. Dans les années 50-60, IBM lance les premiers logiciels informatiques de gestion industrielle. Puis, dans les années 70-80, la logistique prit un changement radical avec la complexification de ses paramètres. En effet, le concept de la logistique a évolué avec l'ouverture des entreprises sur de nouveaux marchés à l'international et devient une problématique en soi (Akbari Jokar et al., 2000).

1.1.2 Définition du mot logistique

En 1948, l'AMA (American Marketing Association) adopte la définition suivante de la logistique : la logistique est le mouvement et la manutention de marchandises du point de production au point de consommation ou d'utilisation (Tixier et al., 1996). Ensuite, NCPDM (National Council of Physical Distribution Management) définit la logistique comme un terme employé dans l'industrie et le commerce pour décrire le vaste spectre d'activités nécessaires pour obtenir un mouvement efficace des produits finis depuis leur sortie des chaînes de fabrication jusqu'au consommateur, et qui inclut le mouvement des matières premières depuis leurs fournisseurs jusqu'au début des chaînes de fabrication. Ces activités incluent le transport des marchandises, l'entreposage, la manutention, l'emballage, le contrôle des stocks, le choix des emplacements d'usines et d'entrepôts, le traitement des commandes, les prévisions de marché et le service offert aux clients (NCPDM, 1962). Ratliff et Nulty (1996) ont défini la logistique comme une collection d'activités relatives à l'acquisition, au mouvement, au stockage et à la livraison des pièces et des marchandises dans une Chaîne Logistique. La logistique inclut les fonctions de transport, de distribution, d'entreposage, de management des matières et des stocks. Elle est liée à la fabrication et au marketing. La norme AFNOR 2006 propose la définition suivante pour la logistique : la logistique est la planification,

l'exécution, la maîtrise des mouvements, des mises en place des personnes ou des biens, et des activités de soutien liées à ces mouvements au sein d'un système organisé pour atteindre des objectifs spécifiques. Elle a comme objectif la satisfaction des besoins exprimés aux meilleurs coûts pour l'entreprise. Ces besoins sont soit de nature interne (approvisionnement de biens et de services pour assurer le fonctionnement de l'entreprise) soit externe (satisfaction de clients). La logistique est une fonction multi dimensionnelle qui comprend plusieurs métiers relatifs à la gestion et à la maîtrise des flux physiques et d'informations. Pimor et Fender (2008) concluent que la logistique tend en amont vers différentes activités telles que l'achat et l'approvisionnement qui comprennent la réception des matières premières, le stockage et le magasinage. En plus, elle tend en aval vers la gestion de toute la chaîne de distribution qui comprend le stockage du produit fini, préparation des commandes client et l'expédition.

D'après les définitions présentées ci-dessus, il est à noter que le concept de la logistique continue toujours à évoluer son champ d'action dans le monde des entreprises, d'où la naissance de d'autres concepts clés tel que la Chaîne Logistique qui fait l'objet de la section suivante.

1.2 Les activités de la logistique

Il existe plusieurs activités logistiques tout au long du processus par lequel passe un produit. La figure 2 illustre ces différentes activités.

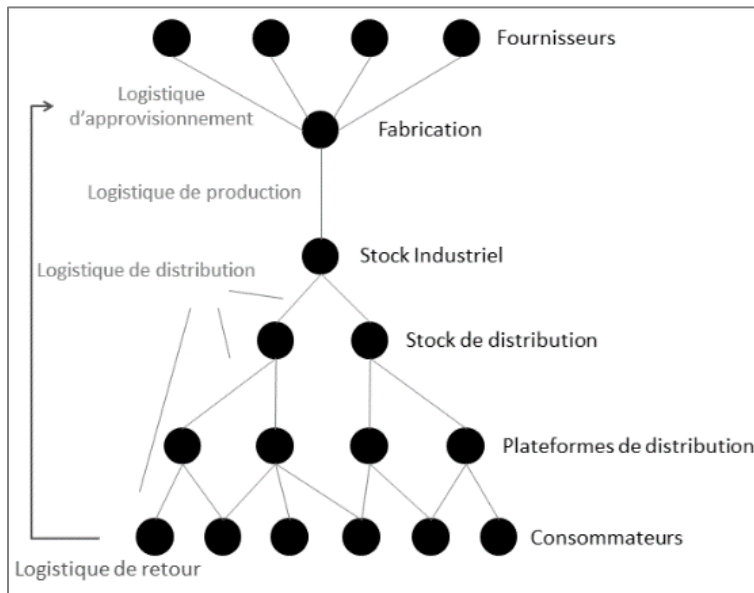


Figure 2. Les activités de la logistique (Savy, 2006)

La première activité consiste à approvisionner la matière première ou les produits semi finis nécessaires pour les chaînes de productions (Wackermann, 2005). La deuxième concerne la logistique interne au sein des unités et des ateliers de productions (Nyhuis et al., 2007). À la sortie de ces derniers, la logistique de distribution est l'activité qui prend place pour transporter les produits finis vers les lieux de consommation (Patier, 2002). Finalement, la logistique de retour est aussi nécessaire pour acheminer les produits ayant des problèmes afin de procéder à des actions comme le recyclage ou bien la réutilisation (Brito et al., 2005).

1.3 Les acteurs de la logistique

Dans un système logistique, ils existent plusieurs acteurs impliqués. La figure 3 illustre les différents acteurs de la logistique

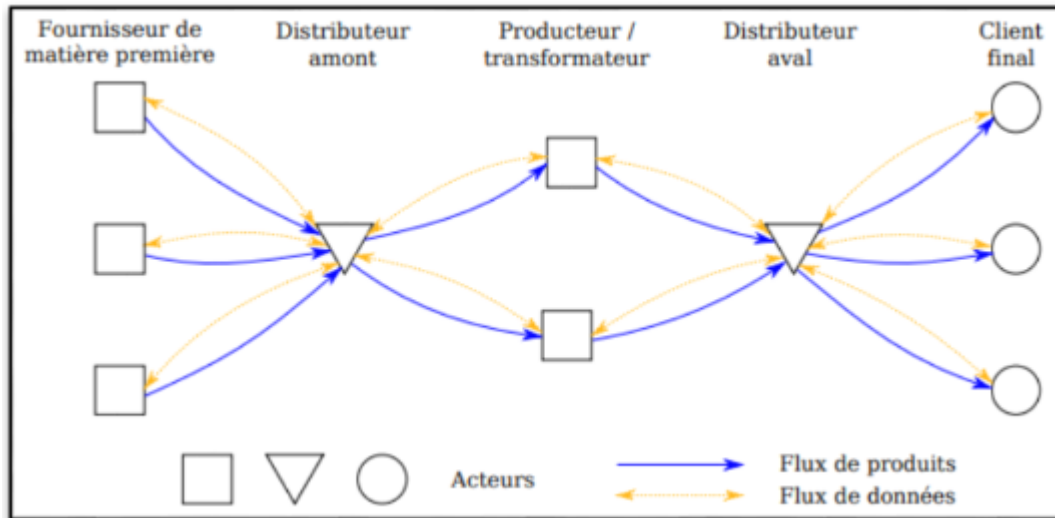


Figure 3. Acteurs de la logistique (Ogier, 2013)

Les acteurs principaux de la logistique sont les fournisseurs, les producteurs, les prestataires de service, les distributeurs et les clients finaux. Les systèmes logistiques sont conçus d'une manière à ce que tous les acteurs puissent collaborer pour satisfaire la demande du client final. Ces systèmes logistiques représentent généralement une entreprise comme limite, et qui a des fournisseurs et des clients. Cette entreprise peut être n'importe quel type d'entreprise qui gère un flux de marchandises tout au long de cette chaîne. Cette dernière représente « la chaîne de valeur » parce qu'elle apporte de la valeur à toutes les activités de ce processus (Behrends et al., 2008).

2 Concept de la Chaîne Logistique

2.1 Origines et définition de la Chaîne Logistique

Le terme Chaîne Logistique vient du mot anglais « Supply Chain » qui signifie la Chaîne Logistique ou d'approvisionnement. Il s'agit d'un concept largement discuté en littérature ces dernières années, de sorte qu'une variété de définitions et d'analyses sous différents angles sont proposées. La Chaîne Logistique peut être définie comme étant un réseau d'entreprises en interaction, dont l'objectif est de fournir un produit ou un service au client final à travers des combinaisons de ressources efficaces qui contribuent à la création de la valeur. Elle implique plusieurs sous-systèmes, activités, relations et opérations. En plus, elle se caractérise par l'hétérogénéité des partenaires, la diversité des produits et la nature concurrentielle des marchés. Ceci rend les relations entre les entreprises plus complexes et turbulentes. D'où la naissance du concept du Supply Chain Management (SCM) afin d'assurer une bonne analyse et gestion de ces relations. Le tableau 1 illustre quelques définitions de la Chaîne Logistique. Les idées communes données par ces définitions sont résumés comme suit :

- Une Chaîne Logistique implique plusieurs entreprises et partenaires.
- Les entreprises d'une Chaîne Logistique doivent collaborer et coordonner afin de gérer trois types de flux : physique, financier et informationnel.
- Chaque entreprise doit exécuter les fonctions de base de la logistique de production, de distribution et de vente.
- Une entreprise peut appartenir de plusieurs Chaînes Logistiques.
- Les entreprises d'une Chaîne Logistique doivent coopérer afin de faire face aux contraintes du marché.
- La Chaîne Logistique est un réseau large des entreprises qui doit intégrer les contraintes du développement durable.
- Les entreprises de la Chaîne Logistique doivent partager des informations afin d'assurer un flux fluide de marchandises.

Tableau 1. Définitions de la Chaîne Logistique

Auteurs	Définitions
(Londe et Masters,1994)	Une Chaîne Logistique est un ensemble d'entreprises indépendantes qui participent à la fabrication d'un produit et à son acheminement jusqu'à l'utilisateur final. Les membres de la Chaîne Logistique sont les producteurs de matières premières et de composants, les assembleurs, les grossistes, les distributeurs et les transporteurs.
(Ganeshan et al,1995)	Une Chaîne Logistique est un réseau d'entités de production et de sites de distribution qui réalisent les fonctions logistiques de matières, de transformation de ces matières en produits intermédiaires et finis, et de distribution de ces produits finis jusqu'aux clients.
(Tayur et al,1999)	Un système de sous-traitants, de producteurs, de distributeurs, de détaillants et de clients qui échangent entre eux des flux matériels dans le sens des fournisseurs vers les clients et des flux d'information dans les deux sens.
(Stadlter et Kilger,2000)	Une Chaîne Logistique est constituée de deux ou plusieurs organisations indépendantes, liées par des flux physiques, informationnels et financiers. Ces organisations peuvent être des entreprises produisant des composants, des produits intermédiaires et des produits finis.
(Génin,2003)	Une Chaîne Logistique est un réseau d'organisations ou de fonctions géographiquement dispersées sur plusieurs sites qui coopèrent, pour réduire les coûts et augmenter la vitesse des processus et activités entre les fournisseurs et les clients.
(Lummus et Vokurka, 2004)	Toutes les activités impliquées dans la livraison d'un produit depuis le stade de matière première jusqu'au client en incluant l'approvisionnement en matière première et produits semi-finis, la fabrication et l'assemblage, l'entreposage et le suivi des stocks, la saisie et la gestion des ordres de fabrication, la distribution sur tous les canaux, la livraison au client et le système d'information permettant le suivi de toutes ces activités.
(Chardine-Baumann, 2011)	Une Chaîne Logistique se rapporte généralement à un produit fini/service ou à une famille de produits finis/services donnés, elle fait intervenir plusieurs entreprises autonomes, ces entreprises sont liées entre elles par les trois flux : information, physique et financier, les entreprises coopèrent et s'allient pour mieux s'adapter aux nouvelles contraintes du marché, une Chaîne Logistique paraît très étendue, d'abord parce qu'il existe presque toujours un fournisseur du fournisseur et parce qu'il est difficile de savoir où s'arrête la consommation d'un produit lorsque par exemple on introduit la notion de recyclage, la Chaîne Logistique doit intégrer les nouvelles contraintes liées au développement durable.
(Coyle et al., 2013)	Une Chaîne Logistique est définie comme étant un réseau d'entreprises qui partagent des informations et qui gèrent ensemble l'exécution physique afin d'assurer un bon fonctionnement et un flux intégré de biens et de services.

Cette thèse de recherche se focalise sur l'aspect de collaboration au niveau de la Chaîne Logistique. De ce fait, la définition suivante est adoptée pour l'objet de l'étude : la Chaîne Logistique est un réseau d'entreprises qui coordonnent trois types de flux physique, informationnel et financier pour atteindre un objectif final tout en prenant en considération les contraintes du développement durable.

2.2 Structure de la Chaîne Logistique:

Il existe plusieurs types de structures physiques de la Chaîne Logistique. Ces derniers représentent des cadres d'études des chaînes logistiques (Galasso, 2007). Les figures en dessous illustrent ces différentes structures.

- La structure série : est une structure sous forme linéaire. Elle peut être utilisée pour évaluer le partage d'information entre les différents acteurs de la chaîne. La figure 4 illustre cette structure.

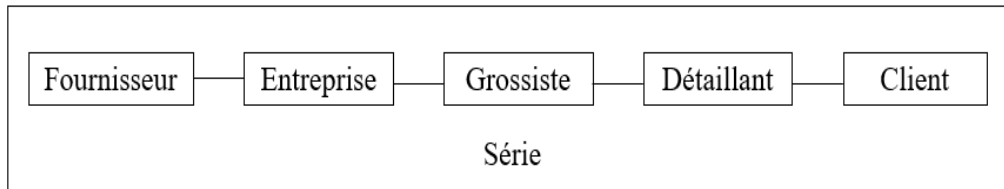


Figure 4. *Structure en série*

- La structure dyadique : est une structure composée de deux maillons. Elle peut être utilisée pour étudier les relations bilatérales entre client et fournisseur. La figure 5 illustre cette structure.

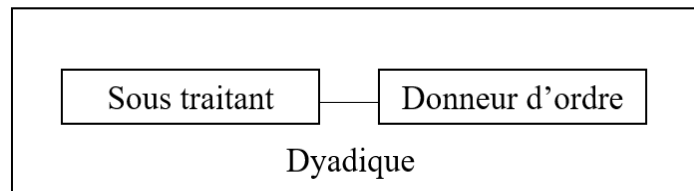


Figure 5. *Structure dyadique*

- La structure divergente : est une structure sous forme d'un réseau divergent. Elle peut être utilisée pour la modélisation d'un réseau de distribution. La figure 6 illustre cette structure.

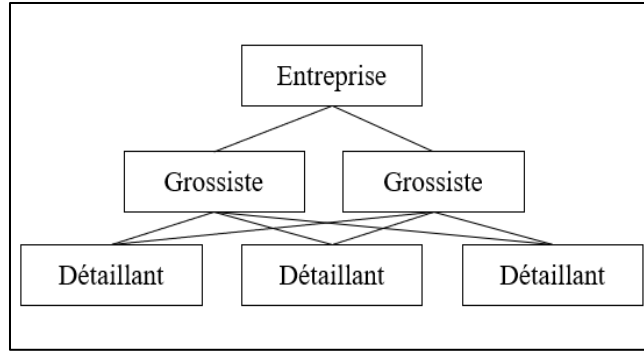


Figure 6. *Structure divergente*

- La structure convergente : est une structure sous forme d'un réseau convergent et peut être utilisée pour l'étude du panel fournisseurs de la chaîne. La figure 7 illustre cette structure.

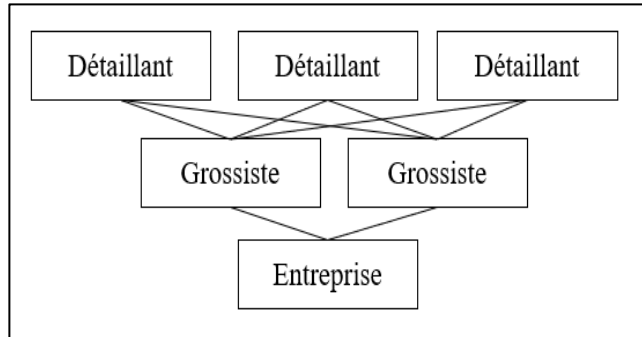


Figure 7. *Structure Convergente*

- La structure réseau : est une combinaison entre la structure divergente et la structure convergente. Elle peut être utilisée pour étudier des chaînes logistiques plus complexes. La figure 8 illustre cette structure.

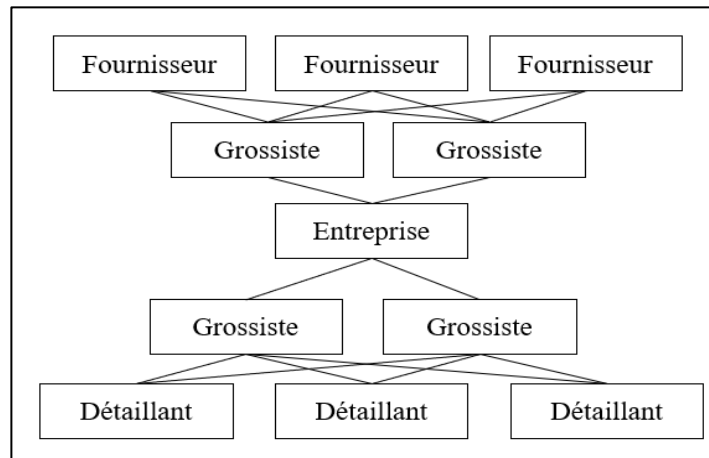


Figure 8. *Structure réseau*

2.3 Flux de la Chaîne Logistique:

Dans la littérature, plusieurs types de flux sont identifiés dans une Chaîne Logistique. La figure 9 illustre trois types de flux (matière, d'information et financier).

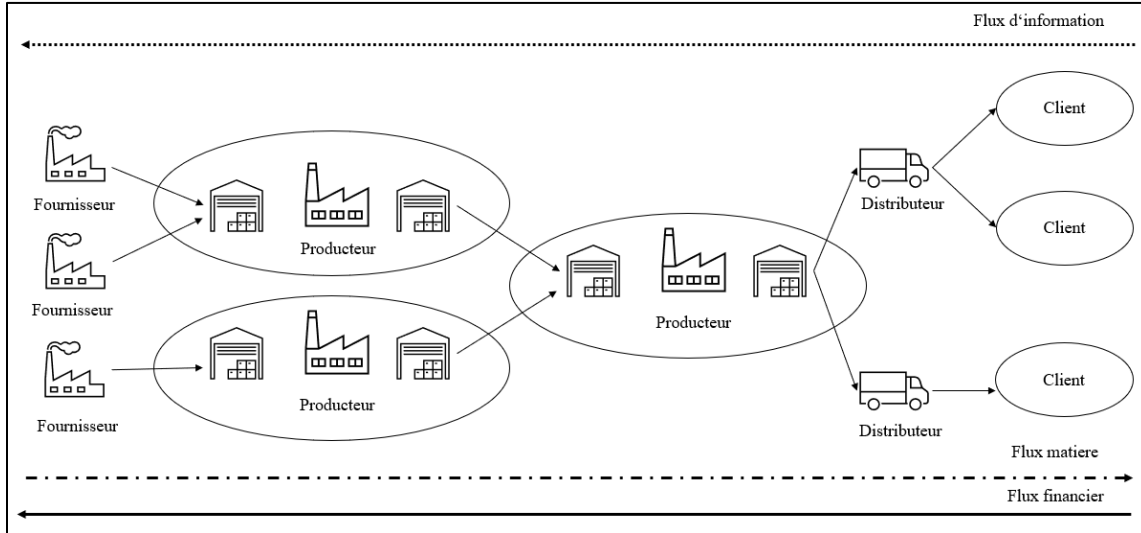


Figure 9. Flux logistiques

Le flux d'information représente tous les types d'informations (commerciales, techniques...) échangés entre les différents partenaires de la Chaîne Logistique. Dans ces dernières années, Le flux d'information a connu plus importance grâce au développement rapide de nouvelles technologies et de communication (François et al., 2007). Le flux physique représente le mouvement de la marchandises (matière première, produit semi finit ou produit finit) à travers les différents maillons de la Chaîne Logistique (Galasso, 2007). Le flux financier représente l'ensemble transactions financières liés au mouvement de la marchandise (achat et vente de matières premières, des outils et des produits) entre les différents acteurs de la Chaîne Logistique (Galasso, 2007).

2.4 Modélisation de la Chaîne Logistique:

Dans la littérature, il existe plusieurs modèles pour étudier les Chaînes Logistiques en se basant sur l'indentification de ses différents processus.

2.4.1 Approche processus

2.4.1.1 Modèle de Porter :

Michael Porter a présenté en 1986 un modèle basé sur la notion de la chaîne de valeur dont l'objectif principal était de chercher tous les points générateurs de valeurs dans les processus des entreprises. Ceci permet d'obtenir un avantage concurrentiel et de se concentrer sur ce qui est important pour le client. Ce modèle est une représentation générale de l'entreprise qui s'appuie sur des activités transformant les entrées en sorties. Le modèle distingue entre deux types d'activités génératrices de valeurs : activités de base et activités de soutien. La figure 10 illustre le modèle de Porter.

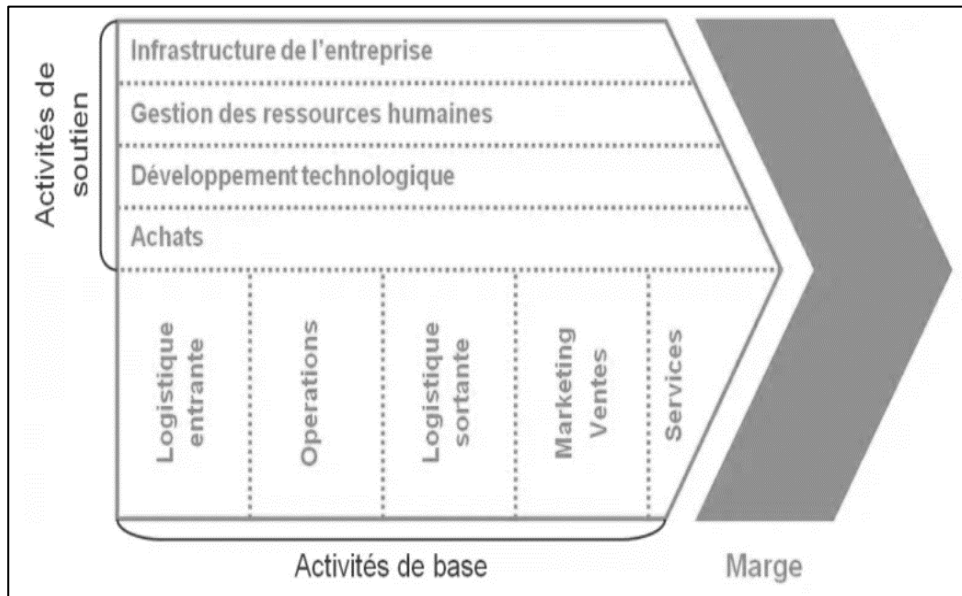


Figure 10. *Modèle de Porter (Porter, 1986)*

2.4.1.2 Modèle de Cooper :

Ce modèle se focalise sur les liens existants entre la structure de la Chaîne Logistique, ses composants et ses processus. La figure 11 illustre le modèle de Cooper.

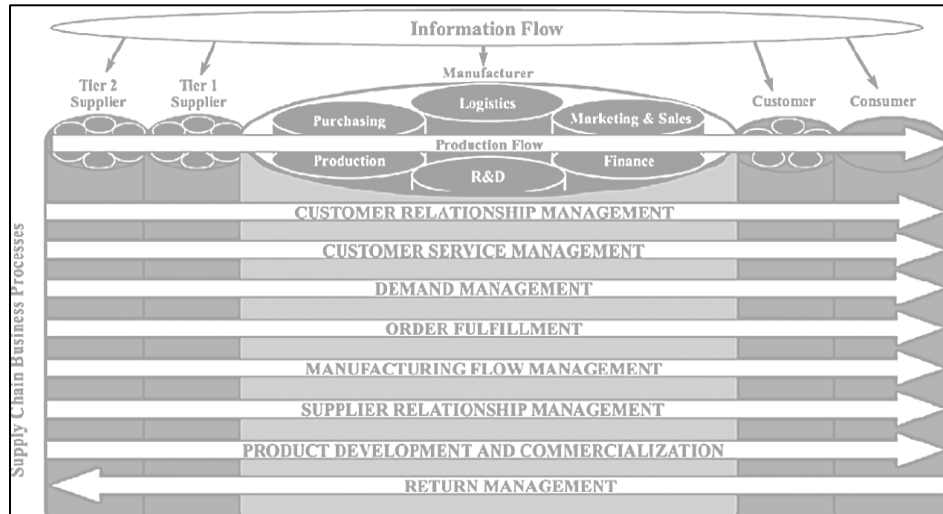


Figure 11. *Modèle de Cooper (Cooper, 1997)*

Ce modèle est composé de neuf processus. Sept d’entre eux se focalisent sur le flux informationnel tandis que les deux autres restants correspondent au flux physique (production flow et return management). Dans ce modèle, la Chaîne Logistique représente un enchaînement des activités allant des fournisseurs jusqu’aux clients tout en passant par les achats, approvisionnements, production et distribution.

2.4.1.3 Modèle de Glimour :

Le modèle de Glimour permet d’étudier la Chaîne Logistique selon trois critères : l’organisation, les process et les technologies d’information. La figure 12 illustre ce modèle

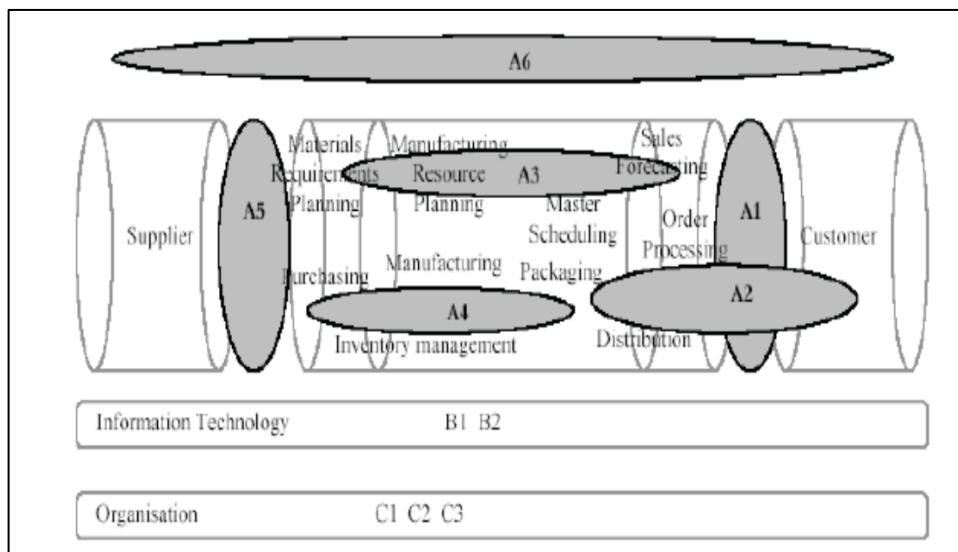


Figure 12. *Modèle de Glimour (Glimour, 1991)*

La Chaîne Logistique est décomposée en six différentes capacités organisationnelles de type processus.

- L'orientation client de la Chaîne Logistique (A1)
- La distribution efficace (A2)
- Le pilotage de la planification par les ventes (A3)
- Le « lean production » (A4)
- Le partenariat avec les fournisseurs (A5)
- La gestion intégrée de la Chaîne Logistique (A6)

Ces capacités sont ensuite analysées à travers les deux autres aspects qui sont l'organisation et les technologies d'information.

2.4.1.4 Modèle de SCOR :

Le modèle SCOR (Supply Chain Operations Reference) est une méthodologie structurée de modélisation des processus de la Chaîne Logistique ainsi que l'évaluation des critères de performance et les meilleures pratiques associées. La figure 13 illustre le modèle SCOR.

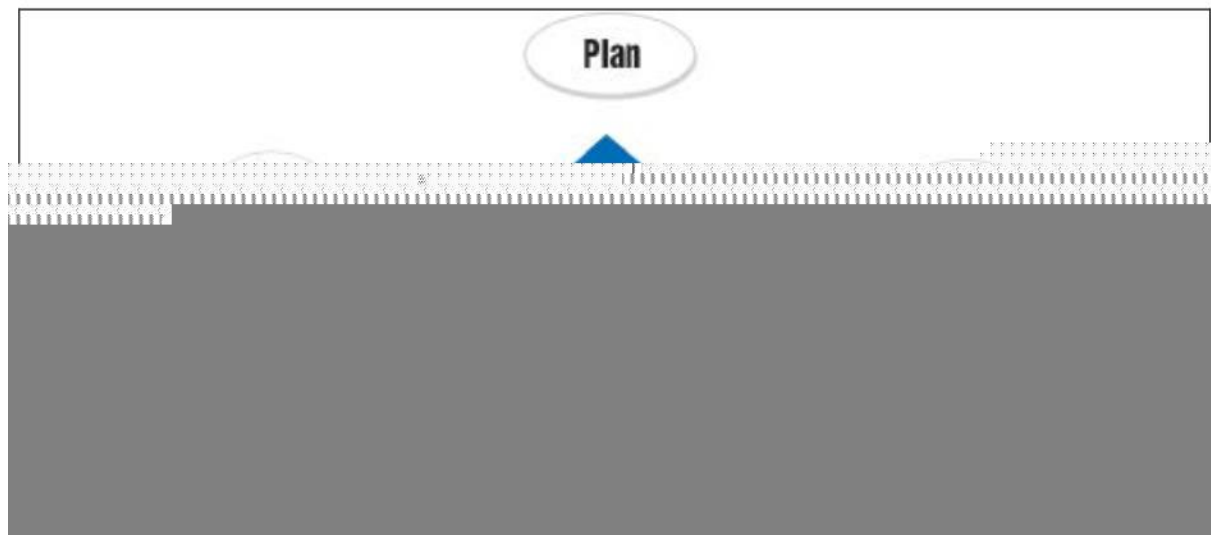


Figure 13. *Modèle SCOR (SCOR, 2012)*

Ce modèle s'appuie sur cinq processus clés (planification, approvisionnement, fabrication, livraison et gestion des retours), et permet de faire une analyse descendante des liens entre la stratégie d'une organisation et la gestion individuelle et opérationnelle des entités.

Pour cette thèse de recherche, la définition suivante du SCM est adoptée : le SCM est une approche intégrative pour s'accorder sur la planification et le contrôle du flux physique entre tous les intervenants de la Chaîne Logistique (fournisseurs, producteurs, distributeurs), depuis la matière première jusqu'au produit fini, de manière que la marchandise soit produite et distribuée en quantité conforme, au bon endroit et au bon moment.

3.1.2 Origines du SCM

Dans les années 50 et 60, le développement de nouveaux produits était compliqué et ne reposait que sur l'aspect technologique. De plus, les problèmes d'achats étaient presque négligés par les décideurs à l'époque, cette fonction étant considérée comme un service de production. L'augmentation du volume de production était le principal objectif de cette période, et peu d'importance était accordée au partenariat entre les acteurs. Le partage de la technologie et de l'expertise avec les clients ou les fournisseurs a été jugé trop risqué et inacceptable. Dans les années 70, les managers ont pris conscience de l'impact du WIP (Work In Process) sur les coûts de fabrication, le développement de nouveaux produits, la qualité et les délais de livraison. L'adoption de la planification des ressources matérielles (MRP) a été l'un des facteurs à l'origine de cette prise de conscience accrue. L'objectif n'était donc pas seulement d'avoir un volume de production assez élevé, mais plutôt d'augmenter les performances. Dans les années 80 et au début des années 90, les entreprises ont commencées à externaliser leurs activités logistiques et à se concentrer sur leurs cœurs de métier. Le prestataire logistique externe était un réel avantage commercial et un moyen viable pour les entreprises d'atteindre leurs objectifs de productivité et d'efficacité. En conséquence, de nombreux fabricants ont optés davantage pour une approche relationnelle avec leurs fournisseurs et leurs clients. Ils ont compris les avantages de la relation de coopération avec d'autres entreprises aux différents niveaux de la chaîne. Une autre raison qui a influencée le partenariat entre le fournisseur et le client était la concurrence mondiale accrue. L'introduction des systèmes ERP (Enterprise Resource Planning) dans les années 90 a contribué au développement des relations clients et fournisseurs. L'évolution se poursuit au 21ème siècle avec le développement de technologies de l'information plus sophistiquées. De plus, la relation client-fournisseur au cours de cette période est passée d'un partenariat normal à une relation à long terme et des alliances stratégiques. Les fabricants et les détaillants exploitent régulièrement les forces et la technologie des fournisseurs pour soutenir le développement de nouveaux produits, les canaux de distribution et la réduction des coûts. La dernière tendance dans l'évolution du SCM est le passage à des

systèmes de relations avec les fournisseurs à travers les frontières nationales et vers d'autres continents. Certains auteurs ont segmenté l'évolution du SCM en plusieurs étapes :

- Années 1950 et 1960 : Fragmentation des activités
- Années 1960 à 2000 : intégration des activités
- Années 2000 : SCM

Il est à noter que le GSCM était parmi les derniers concepts introduits dans la littérature lié au SCM. En effet, les entreprises sont beaucoup plus grandes qu'avant. Elles réalisent des économies d'échelle et, grâce à la mise en place de politiques de libéralisation des échanges, Elles internationalisent leurs activités sur d'autres marchés en croissance. Le concept du SCM à lui seul ne suffit pas pour être efficace et compétitif dans le nouvel environnement, c'est pourquoi de nouveaux concepts et stratégies de gestion, notamment le GSCM, émergent.

3.2 Les modes de pilotage

Selon la méthode logistique choisie dans le processus, les flux logistiques peuvent avoir différentes formes.

- Les flux poussés : L'élément déclencheur de chaque étape de fabrication est la disponibilité des matières premières ou des composants au niveau du poste amont. Les produits fabriqués sont stockés en attente d'une demande pour la consommation.
- Les flux tirés : Le déclenchement de la livraison ou de la fabrication d'un produit se fait uniquement sur la demande d'un poste client. Par principe, il n'existe pas de stock dans la chaîne.
- Les flux tendus : Une combinaison des deux flux poussés et tirés, c'est l'équivalent d'un flux tiré, mais avec un minimum de stocks et d'en-cours repartis tout au long de la Chaîne Logistique.
- Les flux synchrones : La livraison de composants est réalisée dans le respect de leur ordre d'entrée dans le processus de fabrication. Ils sont donc livrés juste au moment de leur utilisation. Ce qui permet de réduire les stocks et les coûts qui y sont liés.

3.3 Les structures décisionnelles au sein de la Chaîne Logistique

3.3.1 Structure centralisée

La structure centralisée représente un mode de contrôle et de pilotage central de toutes les informations et décisions pour une Chaîne Logistique (Baboli et al., 2011).

Ce type de structure n'est pas adaptée à un niveau de complexité élevé de la Chaîne Logistique. En effet, l'entité centrale qui contrôle et pilote le reste des entités doit avoir une capacité importante pour le traitement des informations afin d'éviter les risques de dysfonctionnements de toute la Chaîne Logistique.

3.3.2 Structure décentralisée (distribuée)

Ce type de structure donne la possibilité à chaque entité de gérer ses différentes activités d'une façon décentralisée et d'être responsable de ses décisions locales (Schmitt et al., 2014).

La structure décentralisée est adaptée à un réseau d'entreprise indépendantes d'un point de vue juridique, elle repose essentiellement sur l'échange d'information efficace entre les entités locales et la diminution de la quantité d'informations à traiter par l'entité centrale. Cependant, ce type de structure peut présenter quelques problèmes de coordination s'ils existent des conflits d'intérêts entre les différentes entités.

4 Concept du GSCM et les concepts voisins

L'impact environnemental de la Chaîne Logistique représente les émissions de gaz à effet de serre, les matières dangereuses, les produits chimiques toxiques et autres polluants, ainsi que les problèmes d'épuisement des ressources (Sanders, 2011). Les émissions de gaz à effet de serre et le réchauffement climatique conduisent à de nombreux impacts perturbateurs tels que le changement climatique, les sécheresses, les inondations, etc. En outre, la santé humaine est confrontée à de graves dangers et risques dus aux différents types de pollutions. Afin d'arrêter l'accumulation de gaz à effet de serre dans l'atmosphère terrestre, les émissions mondiales devraient cesser de croître au cours de cette décennie et être réduites de 60% par rapport aux niveaux actuels d'ici 2050 (Lash & Willington, 2007). C'est pourquoi les chercheurs, les scientifiques et les acteurs impliqués dans l'industrie commencent à inclure des considérations environnementales dans leurs études. De nombreuses entreprises prennent conscience de l'importance des enjeux environnementaux dans la mesure où elles définissent leurs valeurs fondamentales sur la base de ces enjeux. Cependant,

adopter l'environnement comme une valeur fondamentale pour un individu ou une institution, signifie plus que simplement le déclarer comme une valeur, mais plutôt changer de comportement. Les organisations devront s'attendre à des questions sur le degré d'écologisation de leurs processus de fabrication et de leurs Chaînes Logistiques (Lee, 2008).

4.1 Définitions du GSCM

Dans la littérature, le GSCM est un concept qui a connu une évolution significative ces dernières années en termes des publications scientifiques, et il a aussi reçu une attention considérable de la part des chercheurs et des gestionnaires, en raison d'une prise de conscience accrue de l'impact négatif de la Chaîne Logistique sur l'environnement et la santé humaine (Venkat & Wakeland, 2006). Aujourd'hui, le développement durable ou les enjeux sociaux et environnementaux de la Chaîne Logistique sont devenus l'une des principales préoccupations des chercheurs. La figure 15 illustre l'évolution du nombre de publications sur le GSCM.

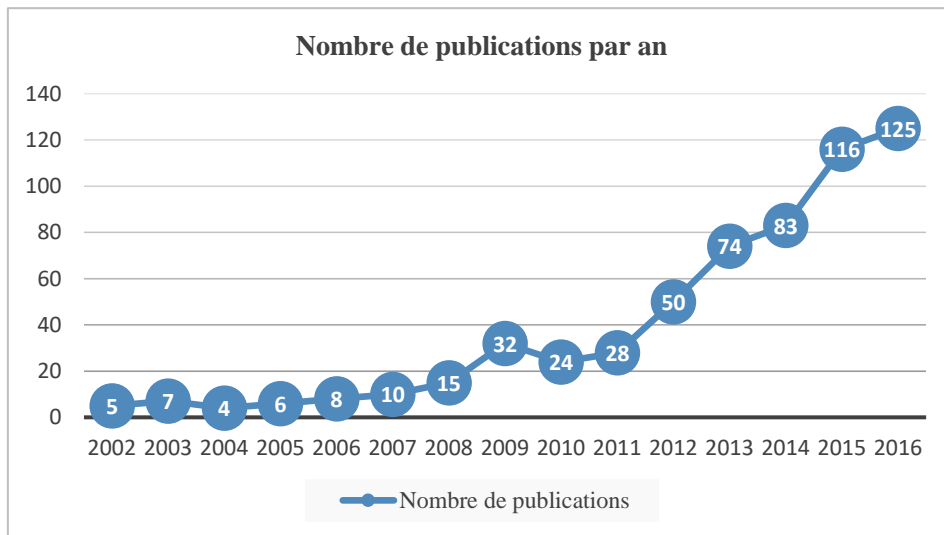


Figure 15. Evolution des travaux de recherche sur le GSCM

Les définitions du GSCM vont de la surveillance réactive des programmes généraux de gestion environnementale à des pratiques plus proactives et même des innovations environnementales. Le tableau 3 synthétise quelques définitions du GSCM.

Tableau 3. Définitions du GSCM

Auteurs	Définition
(Zsidisin & Siferd, 2001)	Le GSCM est l'ensemble des politiques du SCM mises en place, des actions entreprises et des relations formées en réponse aux préoccupations liées à l'environnement en ce qui concerne la conception, l'approvisionnement, la production, la distribution, l'utilisation, la réutilisation et l'élimination des biens et services de l'entreprise.
(Srivastava, 2007)	Le GSCM est l'intégration de la réflexion environnementale dans le SCM, y compris la conception du produit, l'approvisionnement et la sélection des matériaux, les processus de fabrication, la livraison du produit final aux consommateurs ainsi que la gestion de la fin de vie du produit.
(Rettab & Ben Brik, 2008)	Le GSCM est une approche managériale qui cherche à minimiser les impacts ou l'empreinte environnementale et sociale d'un produit ou service
(Zhu et al., 2008)	Le GSCM va des achats écologiques à la gestion intégrée du cycle de vie des Chaînes Logistiques allant du fournisseur au client et ferme la boucle avec la logistique inverse
(Dawei et al., 2015)	Le GSCM est une chaîne innovante qui respecte les tendances du développement social. Il intègre la performance économique, la performance environnementale et l'efficacité des ressources dans l'ensemble de ses activités impliquant l'achat de matières premières et de composants, la fabrication, l'emballage, la distribution, la vente au détail et le recyclage des produits.
(Sharma et al., 2017)	Considérant les techniques innovantes du SCM pour réduire l'impact environnemental et maximiser les avantages économiques sont connues sous le nom des pratiques GSCM

Toutes ces définitions mettent l'accent sur l'intégration de la réflexion environnementale dans le SCM à travers tous les différents processus sans détailler les pratiques qui doivent être mises en place par les partenaires de la Chaîne Logistique.

Dans le cadre de cette étude, la définition suivante du GSCM est adoptée : le GSCM est l'intégration de la réflexion environnementale dans le SCM, à travers la collaboration entre les différents partenaires de la chaîne pour prendre des décisions durables.

De nombreuses variables forcent les organisations à adopter des pratiques vertes telles que, la volonté des clients à acheter des produits écologiques et les réglementations gouvernementales sous forme de soutien technique et financier ou de réduction d'impôt pour des complexes industriels respectueux de l'environnement (Lee, 2008). Parmi les exemples de la législation gouvernementale pour protéger l'environnement de l'impact de la Chaîne Logistique, ceux des programmes

obligatoires de la Commission Européenne et les programmes d'incitation. En effet, le gouvernement Australien a décidé de mettre en place une taxe carbone en 2011 pour contribuer à la réduction mondiale des émissions de dioxyde de carbone (Bradshaw et al., 2013). Un autre exemple est la Chine qui impose des restrictions à l'importation et à la fabrication de produits contenant du cadmium ou du mercure (Wisner et al., 2015). Certaines entreprises réussissent à trouver des solutions environnementales tout en restant rentables. Ils renforcent leurs systèmes de management en mettant en œuvre des solutions de réduction des coûts et de fortes considérations d'impact environnemental de leurs activités. Ces stratégies permettent d'économiser de l'argent pour les clients et de rendre les entreprises plus compétitives dans un monde limité en carbone (Lash et Willington, 2007).

4.2 Structure et Composantes du GSCM

Le GSCM couvre de nombreuses activités telles que la conception verte, les achats écologiques, la fabrication verte, la distribution verte et la logistique inverse (Srivastava, 2007). Plusieurs auteurs proposent des modèles complets pour présenter la structure du GSCM. La figure 16 illustre un modèle issu de l'industrie automobile.

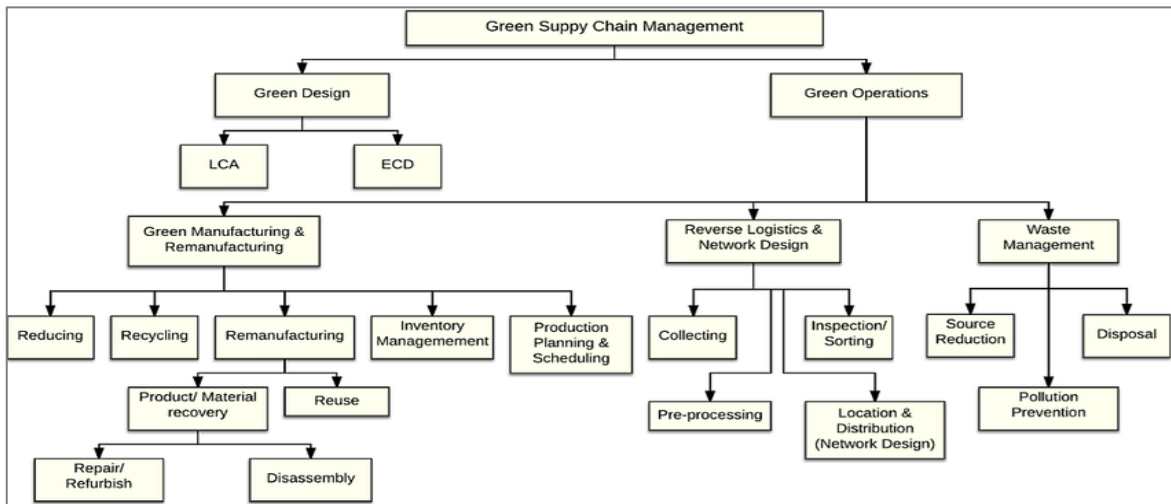


Figure 16. Structure du GSCM de l'industrie automobile (Srivastava, 2007)

Dans ce modèle, la structure du GSCM est classifiée en deux grandes catégories : la conception verte et les opérations vertes. Chaque catégorie comprend plusieurs processus et sous processus pour la mise en place du GSCM.

Dans le même contexte, Ninlawan et al. (2010) étudient les activités impliquées dans la mise en œuvre d'une Chaîne Logistique verte dans l'industrie électronique. La figure 17 illustre cette structure.

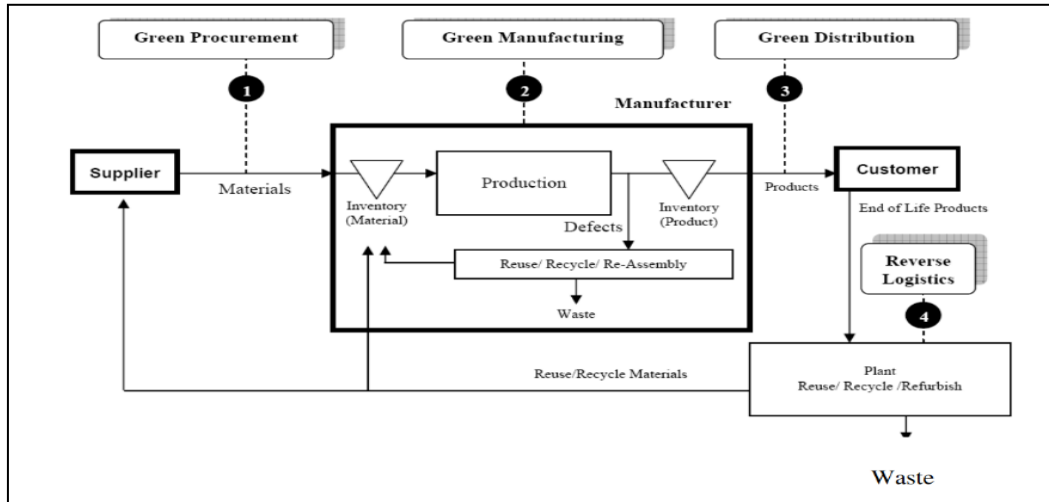


Figure 17. Structure du GSCM de l'industrie électronique (Ninlawan et al., 2010)

Les activités mentionnées sur le schéma en dessus comprennent tous les processus de la Chaîne Logistique, de l'achat vert (la sélection des fournisseurs, la sélection des matières premières, etc.) à la fabrication verte (la conception verte, la minimisation des déchets, la réduction de la consommation d'énergie, etc.), à la logistique verte, le recyclage et la gestion des déchets des produits.

4.2.1 Conception écologique

La conception écologique est le développement de produits plus durables et plus éco énergétiques. Des produits qui évitent l'utilisation de matériaux toxiques et peuvent être facilement démontés pour être recyclés (Gottberg et al., 2006). Ces activités offrent des possibilités de minimiser les déchets et d'améliorer l'efficacité de l'utilisation des ressources grâce à des modifications de la taille du produit, de sa durée de vie utile et de sa recyclabilité (Gottberg et al., 2006). D'autre part, la conception écologique a certaines limitations ou inconvénients potentiels, notamment les matériaux facilement recyclables peuvent avoir un impact environnemental substantiel au cours d'autres étapes du cycle de vie. La conception écologique du produit pourrait être utilisée pour analyser l'impact du produit sur l'environnement au cours de son cycle de vie (analyse du cycle de vie du produit).

4.2.2 Achat vert

L'achat vert est lié à une prise de conscience environnementale pour l'achat de matériaux recyclables, réutilisables ou déjà recyclés (Zhu et al., 2008). Les éléments clés des décisions d'achats écologiques comprennent le cadre organisationnel, le modèle de sélection des fournisseurs, les facteurs clés affectant la sélection des fournisseurs et l'établissement de relations avantageuses entre l'acheteur et le fournisseur (Zhu et Geng, 2001). Dans ce contexte, Min et Galle (2001) montrent les effets des achats écologiques sur la sélection des fournisseurs, la gestion des déchets, l'emballage et la conformité réglementaire.

4.2.3 Fabrication écologique

La fabrication écologique est un mode de fabrication moderne qui donne une considération globale à la minimisation de l'impact environnemental et la maximisation de l'utilisation des ressources (Li et al., 2016). Melnyk et Smith (1996) définissent la fabrication écologique comme un système qui intègre les problèmes de conception de produits et de processus avec les problèmes de planification et de contrôle de la fabrication de manière à identifier, quantifier, évaluer et gérer le flux de déchets environnementaux dans le but de réduire et, finalement, minimiser l'impact environnemental tout en essayant de maximiser l'efficacité des ressources. L'une des principales stratégies de la fabrication verte est les trois R (remise à neuf, réduire, réutiliser / recycler), qui incluent des politiques telles que la réduction du volume de déchets dangereux, la minimisation de la consommation de liquide de refroidissement pendant l'usinage et le calcul d'un mix énergétique approprié pour garantir une source d'énergie durable. La fabrication écologique vise à réduire le fardeau écologique en utilisant des matériaux et des technologies appropriées. Les opérations de fabrication écologique visent à réduire, recycler, planifier et ordonnancer de la production, gestion des stocks, reconditionnement, réutilisation et récupération des produits et des matériaux (Srivastava, 2007).

4.2.4 Gestion des déchets

Une mauvaise gestion des déchets peut conduire à une contamination de l'eau, du sol et de l'atmosphère et a un impact majeur sur la santé publique (Giusti, 2009). La gestion des déchets permet de savoir à quel point les procédés sont conçus pour la prévention contre des déchets. La gestion de ces derniers passe par plusieurs sources à savoir la réduction, la prévention de la pollution et l'élimination (Srivastava, 2007). En général, tous les produits ont un cycle de vie

couvrant une séquence d'activités interdépendantes de l'acquisition de la matière première jusqu'à leur gestion en fin de vie (Jofre & Morioka, 2005). Il existe plusieurs stratégies de base de gestion de fin de vie des produits qui sont classées en fonction de leur efficacité économique et environnementale potentielle. La figure 18 illustre ces stratégies de base.

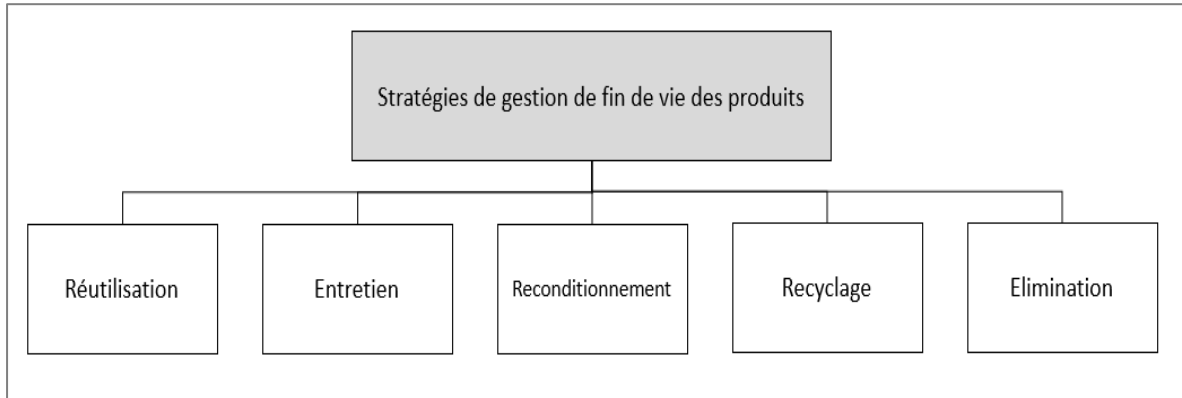


Figure 18. *Stratégies de gestion de produits en fin de vie*

La réutilisation représente la récupération et le commerce de produits usagés ou de leurs composants tels qu'ils ont été conçus à l'origine. L'entretien est une stratégie visant à prolonger l'étape d'utilisation d'un produit par la réparation ou la maintenance. La remise à neuf prend en compte le processus d'élimination de parties spécifiques du déchet pour une réutilisation ultérieure dans de nouveaux artefacts. Le recyclage (avec ou sans démontage) comprend le traitement, la récupération et le retraitement des matériaux contenus dans les produits ou composants usagés afin de remplacer les matériaux vierges dans la production de nouveaux produits. Enfin, l'élimination implique les procédés d'incinération (avec ou sans valorisation énergétique) ou d'enfouissement (Billatos, 1997). Le but de toutes ces stratégies est de maximiser la rentabilité et l'efficacité (Jofre & Morioka, 2005).

4.2.5 Logistique inversée

La logistique inversée se concentre principalement sur le retour de produits et de matériaux recyclables ou réutilisables. Le processus de logistique inverse comprend un certain nombre d'étapes qui sont la collecte, la séparation, la densification, le traitement transitoire, la livraison et l'intégration (Sarkis, 2003). Dans ce contexte, Chouinard et al. (2005) traitent des problèmes liés à l'intégration des activités de la logistique inverse au sein d'un système d'information dans une Chaîne Logistique. Ils définissent la logistique inverse comme la récupération et le traitement des

produits inutilisés et la redistribution des matériaux réutilisables. En effet, l'intégration de la logistique inverse au sein de la Chaîne Logistique régulière vise à améliorer l'efficacité de l'ensemble du réseau logistique pour faire face aux pressions exercées par l'environnement (agences gouvernementales, concurrents, clients, acteurs de la Chaîne Logistique). Srivastava (2006) présente un cadre de gestion des retours de produits pour la logistique inverse en se concentrant sur l'estimation des retours pour la sélection des catégories de produits dans le contexte Indien. En effet, il propose un modèle pour l'estimation des flux de retour qui utilise les données produits, le cycle de vie moyen des produits, la demande prévue et l'impact probable des mesures de politique environnementale.

4.2.6 Logistique verte

Les opérations de distribution et de transport constituent les caractéristiques opérationnelles importantes de la logistique. Ces opérations sont plus compliquées lorsque l'ensemble de la Chaîne Logistique est considéré. Avec l'augmentation rapide du commerce longue distance, les Chaînes Logistiques couvrent de plus en plus de grandes distances, consommant beaucoup plus d'énergie fossile pour le transport et émettant beaucoup plus de dioxyde de carbone qu'il y a quelques décennies (Venkat & Wakeland, 2006). Cependant, avec une prise de conscience croissante de l'effet des activités logistiques (c'est-à-dire le transport) sur le réchauffement climatique, les pollutions de l'air et la consommation d'énergie, le concept de la logistique verte émerge. Il existe plusieurs activités dans le domaine de la logistique verte telles que le redressement du système de distribution, l'optimisation des itinéraires, la mesure des niveaux de pollution, l'utilisation de carburants alternatifs et l'amélioration de la conception des emballages (Sharma, 2000).

4.3 Pratiques GSCM

Pour mettre en œuvre le GSCM, les organisations doivent adopter un certain nombre de pratiques du GSCM qui consistent en des directives de gestion environnementale de la Chaîne Logistique. De nombreuses études ont tenté d'identifier les pratiques du GSCM dans l'organisation, qui sont appelées systèmes internes de gestion de l'environnement et de la qualité. La gestion interne de l'environnement est essentielle pour améliorer la performance environnementale de l'organisation (Zhu et al., 2008). Zhu et Sarkis (2004) indiquent que la gestion de la qualité facilite la mise en œuvre du GSCM. Ils suggèrent que sous un contrôle rigoureux de la qualité, les organisations peuvent améliorer leurs pratiques environnementales en tirant les leçons des expériences de leurs

programmes de gestion de la qualité. En recevant le certificat de la norme ISO 14001 du système de management environnemental (EMS), les organisations sont en mesure de créer des mécanismes structurés pour l'amélioration continue des performances environnementales (Kitazawa & Sarkis, 2000). Beamon (1999) précise que les pratiques du GSCM encouragent les entreprises à adapter la Chaîne Logistique en boucle fermée qui signifie la conception, le contrôle et l'exploitation d'un système pour maximiser la création de valeur tout au long du cycle de vie d'un produit. Certaines études se sont concentrées sur les facteurs environnementaux externes tels que les clients et les fournisseurs. Pour améliorer leur propre environnement, les organisations doivent interagir avec le gouvernement, les fournisseurs, les clients et même les concurrents (Carter & Ellram, 1998). La coopération avec les fournisseurs et les clients est devenue extrêmement critique pour que les organisations puissent boucler la Chaîne Logistique (Zhu et al., 2008). Ainsi, les chercheurs étudient les pratiques du GSCM sous différents angles dans la littérature. Le tableau 4 illustre les différents aspects du GSCM dans lequel des dizaines de pratiques sont proposées :

Tableau 4. Pratiques du GSCM

Pratiques GSCM	Sources
Logistique inverse	(Govindan et al., 2015)
Symbiose industrielle	(Albu, 2017)
Pratiques d'éco-innovation	(Crum et al., 2011)
Technologie de l'information verte et systèmes	(Boudreau et al., 2008)
Green Design	(Lin, 2013)
Gestion du carbone	(Govindan et al., 2015)
Collaboration environnementale des fournisseurs	(Lawson et al., 2006)
Collaboration environnementale des clients	(Lin, 2013)
Certification ISO 14001	(Nawrocka et al., 2009)
Gestion interne	(Rao & Holt, 2005)
Achats écologiques	(Saghiri & Hill, 2014)
Fabrication verte	(Walker et al., 2014)
Emballage vert	(Hsu et al., 2016)
Logistique verte	(González Benito, 2006)
Externalisation verte	(Tseng et al., 2011)
Entreposage écologique	(Zhu et al., 2008)

Les pratiques GSCM identifiées sont les interrelations entre les fournisseurs pour réduire les matières dangereuses, la logistique inverse, la récupération des produits et la réutilisation des produits usagés, la conception verte, les achats écologiques et la collaboration avec les fournisseurs et les clients. En outre, d'autres chercheurs proposent d'autres pratiques comme la gestion interne, la collaboration environnementale des clients, la fabrication verte et les emballages écologiques. Par conséquent, la mise en œuvre réussie du GSCM peut se faire grâce à plusieurs pratiques et initiatives. Il convient de noter qu'une entreprise ne peut pas être plus durable sur le plan environnemental que ses fournisseurs. La mise en œuvre de ces pratiques nécessite donc un certain niveau de collaboration entre les différents partenaires de la Chaîne Logistique.

4.4 Facteurs clés de succès et obstacles

4.4.1 Facteurs de réussite

Une meilleure compréhension des facteurs qui font passer les entreprises au GSCM permet aux chercheurs, aux décideurs et aux gestionnaires de prédire la réactivité écologique et de déterminer l'efficacité relative des mécanismes de commande et de contrôle, des mesures de marché et des mesures volontaires (Vredenburg & Westley, 1993). Les facteurs possibles pour les entreprises de mise en œuvre des pratiques GSCM tout au long de leur Chaîne Logistique comprennent la conformité réglementaire, les pressions des parties prenantes, les préoccupations éthiques, les événements critiques et l'engagement de la haute direction. Zhu et Sarkis (2006) précisent que les facteurs déterminants peuvent différer selon les entreprises et les secteurs d'activité. Selon Walker et al. (2008), ces facteurs peuvent être regroupés en deux catégories principales, à savoir les facteurs internes et les facteurs externes. Preuss (2005) trouve trois grands groupes de facteurs déterminants pour la mise en œuvre de pratiques du GSCM : la pression sociale, les facteurs économiques et les valeurs culturelles, comme le montre la figure 19.

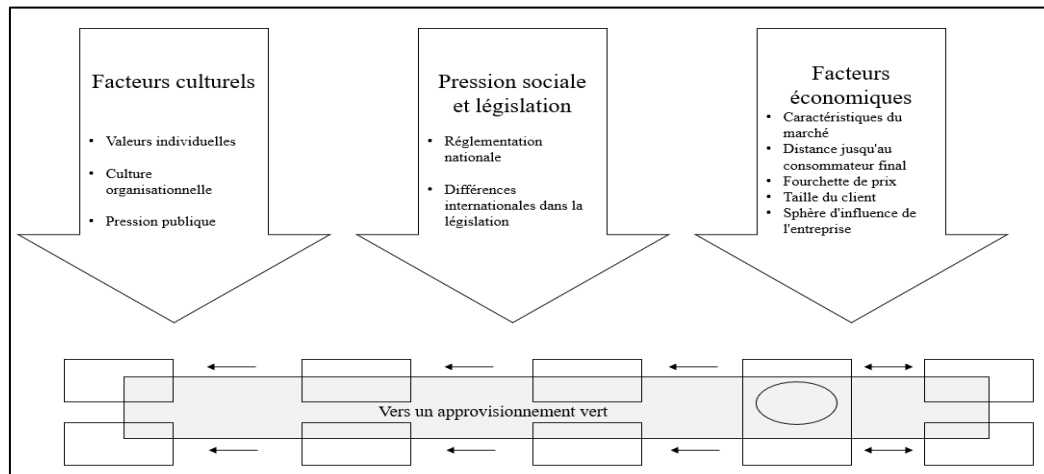


Figure 19. *Facteurs de réussite de la mise en œuvre du GSCM (Preuss, 2005)*

4.4.1.1 Facteurs internes

L'engagement personnel des individus est un moteur interne important de l'adoption du GSCM (Hanna et al., 2000). La motivation personnelle d'un employé peut aller de la récompense intrinsèque à l'amélioration de sa propre position au sein de son entreprise (New et al., 2002). Une autre motivation interne d'une entreprise est la volonté de minimiser les coûts (Handfield et al., 1997). Tout au long du cycle de vie d'un produit, la pollution reflète des coûts cachés sous forme de gaspillage de ressources et d'efforts. Ainsi, une entreprise peut réduire ses coûts en mettant en œuvre le concept de prévention de la pollution par des méthodes telles que la substitution de matériaux et les processus en boucle fermée. La pression des investisseurs peut être considérée comme un moteur au moins en partie interne (Trowbridge, 2001). Walker et coll (2008) considèrent la crédibilité, le risque de réputation et l'embarras du public comme d'autres facteurs internes.

4.4.1.2 Facteurs externes

Il existe un grand nombre de facteurs externes qui peuvent motiver une ou plusieurs entreprises à mettre en œuvre des pratiques GSCM. Parmi les principaux moteurs externes, les chercheurs trouvent la réglementation et la législation gouvernementales (Beamon, 1999). Ici, la littérature fait la différence entre les modes réactifs et proactifs des entreprises et voit une adoption réussie des activités du GSCM dans ce dernier cas, associée à des mesures innovantes (Carter & Dresner, 2001). Meixell et Louma (2015) observent un effet généralement positif des pressions des parties prenantes sur la performance environnementale des entreprises, mais à un degré variable selon le type de partie prenante. Green et al. (1996) identifient les clients d'une organisation comme l'un de

ces moteurs. Les clients peuvent être sous pression des consommateurs finaux (Handfield et al., 1997). Bowen (2000) montre que le degré de visibilité environnementale d'une entreprise peut être considéré comme souvent positivement lié à la quantité de pression à laquelle elle est confrontée pour adopter des pratiques écologiques. Avec la sensibilisation accrue du public aux problèmes environnementaux, la société change ses attentes quant à ce que les entreprises devraient faire pour assumer la responsabilité écologique. Répondre à la pression des groupes de pression axés sur l'environnement, joue un rôle de plus en plus important dans les décisions stratégiques d'une entreprise (Trowbridge, 2001). Les changements d'attitude de la société se reflètent dans le comportement d'achat des clients lorsqu'ils optent pour le produit écologique en termes de méthodes de production respectueuses de l'environnement ou de choix de fournisseurs. Alors que les fournisseurs ne sont généralement pas considérés comme un facteur de motivation en eux-mêmes (Carter & Dresner, 2001), leur intégration réussie dans le SCM d'une entreprise peut se traduire par une amélioration des performances environnementales de l'entreprise.

4.4.2 Obstacles

La revue de la littérature montre que les études des barrières liées à la mise en œuvre du GSCM sont moins nombreuses que les études de ses facteurs de réussite. Il semble y avoir plus de barrières internes qu'externes (Walker et al., 2008). Certains des facteurs caractérisés comme moteurs peuvent également être considérés comme des barrières dans d'autres contextes (Porter & Van de Linde, 1995). C'est encore plus le cas lorsqu'il s'agit d'entreprises de petite et moyenne taille (Hervani et al., 2005). Un autre obstacle important est le manque d'engagement dû à la conviction de nombreuses entreprises et de leur direction que les préoccupations environnementales ne doivent toujours pas faire l'objet d'une attention particulière (Galle, 2001). De même, la situation d'une entreprise en ce qui concerne le manque de technologie requise peut souvent entraver la mise en œuvre de mesures vertes souhaitables. Les obstacles externes Selon Klassen et Vachon (2003) sont la réticence des différents membres de la Chaîne Logistique à coopérer et à échanger des informations qu'ils jugeraient confidentielles peut souvent être un obstacle majeur à la mise en œuvre efficace du GSCM. Un manque de demande des clients pour des produits écologiques peut être un obstacle à la mise en œuvre de mesures vertes (Studer et al., 2006). Une réglementation environnementale manquante et un manque d'incitations et de soutien gouvernementaux peuvent empêcher l'adoption du GSCM (Porter & Van de Linde, 1995). Le manque d'infrastructures publiques telles que les installations de recyclage et de gestion des déchets peut également poser

un problème pour la mise en œuvre réussie de mesures environnementales au sein d'une entreprise. Le tableau 5 illustre les obstacles principaux de la mise en œuvre du GSCM.

Tableau 5. *Obstacles de mise en œuvre du GSCM*

Obstacles de mise en œuvre du GSCM	Sources
Manque d'intégration du système d'information	(Shreejith, 2012)
Manque d'acceptation de l'avancement de nouvelles technologies	(Christian, 2011)
Manque de ressources humaines qualifiées en matière du GSCM	(Lui ,2011)
Manque de mise en place des pratiques GSCM au sein de la Chaîne Logistique	(Gioconda, 2011)
Le manque de soutien de la haute direction	(Jie, 2011)
Coût de mise en œuvre pour GSCM	(Singh, 2012)
La flexibilité du fournisseur pour adopter le GSCM	(Gioconda, 2011)
La non-sensibilisation des clients au GSCM	(Shishime, 2011)
Manque de connaissance et d'expérience en GSCM	(Sixiao, 2011)
Absence de certification de durabilité comme ISO 14001	(Sharma, 2012)

Les obstacles externes à la mise en œuvre réussie de GSCM dans les organisations sont les pratiques rigides des fournisseurs, le manque de disponibilité des données pour mesurer les performances du GSCM, les contraintes financières et l'évolution des réglementations.

Les barrières internes comprennent le manque de soutien de la haute direction et le manque de communication. D'autres obstacles communs sont le manque de sensibilisation du public, le manque de soutien gouvernemental pour l'adoption de nouvelles technologies, le manque de transitions techniques, les contraintes financières, le manque de mission et de vision des organisations vers des pratiques durables, une mauvaise gestion des connaissances et de la communication.

En bref, L'adoption du GSCM nécessite une analyse minutieuse et des modifications systématiques des systèmes existants. Les entreprises doivent être bien équipées pour atténuer les obstacles qui peuvent affecter le fonctionnement d'une organisation à la fois en interne et en externe. Bien qu'il ne soit pas possible d'atténuer tous les obstacles simultanément, une analyse minutieuse de ces obstacles peut aider à les hiérarchiser et à mettre en œuvre avec succès le GSCM.

5 Le GSCM dans le contexte marocain.

5.1 Etat des lieux

Le tableau 6 résume des travaux clés de la mise en place du GSCM dans le contexte Marocain :

Tableau 6. Travaux du GSCM dans un contexte Marocain

Auteurs	Méthodologie	Résultats
(El Baz, 2016)	Recherche qualitative	Ce travail propose un modèle de Chaîne Logistique inverse (RSC) qui englobe les processus de remise à neuf, et d'élimination. Les résultats montrent que la réussite de la mise en œuvre du RSC dépend de nombreux facteurs, mais l'attitude de l'entreprise (proactive ou conservatrice) est l'un des déterminants les plus critiques des initiatives RSC. De plus, les résultats des études de cas indiquent deux types d'inhibiteurs : externes et internes. Ces résultats confirment les résultats de recherches antérieures sur les obstacles à la durabilité environnementale en général et les obstacles RSC en particulier.
(Baddaoui et., 2017)	Recherche qualitative	<p>Une analyse qualitative des pratiques GSCM de soixante-dix-huit entreprises Marocaines a donné les résultats suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nouvelle tendance des clients aux produits respectueux de l'environnement • La collaboration entre tous les acteurs d'une Chaîne Logistique (en aval et en amont) reste le meilleur moyen d'assurer le GSCM. <p>Le GSCM est presque identique à la Chaîne Logistique durable en raison de la faiblesse du fond social dans les stratégies de l'entreprise</p>
(Cherrafi et Elfezazi, 2017)	Etude bibliographique	<p>Identifier et analyser les principaux obstacles à la mise en œuvre du GSCM au Maroc en utilisant le modèle ISM et l'analyse MICMAC. Onze obstacles à la mise en œuvre de ont été identifiés et une méthodologie de modélisation structurelle interprétative a été utilisée pour trouver des relations contextuelles entre eux. Les obstacles trouvés sont les suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Manque de collaboration et d'initiatives GSCM. • Utilisation limitée des technologies de l'information et de la communication. • Mauvaise qualité des ressources humaines. • Manque de culture organisationnelle. • Inconscience des consommateurs marocains et faiblesse des Organisations Non Gouvernementales. • Manque d'engagement de la haute direction. • Manque de gouvernance et de soutien du gouvernement.

(Jamal El Baz, 2021)	Recherche quantitative	Ce travail étudie l'impact d'une culture nationale à travers la distance de pouvoir et la culture organisationnelle à travers la culture adhocratique sur le niveau d'application des initiatives GSCM dans le contexte marocain. Avec une analyse rigoureuse de la littérature, un modèle conceptuel a été développé, qui est testé à l'aide d'une approche d'enquête. Dans l'ensemble, la relation directe entre les pratiques et la culture de la GSCM est de bon augure.
----------------------	------------------------	--

A partir des résultats des travaux mentionnés ci-dessus, les points suivants sont conclus :

- L'implémentation du GSCM dans le contexte Marocain est plein d'obstacles internes et externes.
- L'aspect culturel et la conscience accrue des clients incitent les entreprises à mettre en place des pratiques GSCM.
- La collaboration entre les différents partenaires de la Chaîne logistique reste une pratique clé pour réussir la mise en œuvre du GSCM.

5.2 Politique gouvernementale

Le Maroc est un pays qui est en train de devenir une plaque tournante de l'industrie en Afrique. Les raisons de ce succès sont multiples : une situation géographique idéale pour les investisseurs afin d'implanter leurs usines en vue d'exporter des produits vers l'Europe et l'Afrique, la stabilité de l'économie et du régime politique incite à implanter des unités de production et finalement l'effort gouvernemental, les avantages fiscaux et le pouvoir des ressources humaines qualifiées, qui attirent tous les investisseurs. Tout ce qui précède a été une partie importante de la stratégie globale du Maroc pour diversifier son économie.

En tant que pays en développement, le Maroc est confronté à des problèmes typiques tels que des dépenses publiques restreintes, d'énormes contraintes sur l'activité privée et l'absence d'une croissance économique durable. En ce sens, le Maroc s'achemine vers une économie verte respectueuse des équilibres écologiques et capable d'ouvrir de nouvelles opportunités de création de richesses et d'emplois durables. Cette perspective fait désormais partie des nouvelles stratégies de développement durable.

Le Maroc est particulièrement intéressant en raison de sa position centrale sur les marchés européens et africains et de son implication active dans les initiatives environnementales

notamment après l'organisation de la conférence des Nations Unies sur le changement climatique (COP22) à Marrakech. Depuis lors, le Maroc a adopté plusieurs initiatives environnementales dans sa juridiction et a encouragé les entreprises du secteur privé à mettre en œuvre des pratiques environnementales (Ministère Marocain de l'Environnement, 2015). Le Maroc a également connu un certain nombre de réformes structurelles qui ont amélioré son classement dans l'indice de performance logistique (IPL) de la Banque mondiale : de 94^e en 2007 à 50^e en 2012 (Banque mondiale, 2012). Par ailleurs, le Maroc reçoit actuellement 33 % de ses investissements directs des entreprises multinationales qui se sont tournées vers l'Afrique du Nord (CNUCED, 2014) et a conclu des accords de libre-échange avec les États-Unis, l'Union européenne, la Turquie et le Canada, qui semblent tous pour indiquer que ce pays est de plus en plus intégré dans la Chaîne Logistique mondiale.

Conclusion

Dans ce chapitre, une présentation des termes clés de ce projet de recherche est exposée. L'étude bibliographique faite sur les concepts clés permet de donner un aperçu sur les définitions, l'origine, l'évolution et la modélisation de la Chaîne logistique et le SCM. Le concept du GSCM est traité à travers ses définitions, sa structure, ses pratiques, ses facteurs clés et les obstacles associés à sa mise en œuvre. Un aperçu sur la littérature du GSCM dans le contexte du Maroc comme étant un pays en cours de développement est aussi donné. Les résultats de cette étude bibliographique permettent de bien cerner le sujet de recherche et le bien positionner dans la littérature du GSCM.

Dans la partie qui suit, la méthodologie utilisée pour le développement du modèle choisi est présentée.

Chapitre II : la modélisation des SMA et le GSCM

Introduction : Dans ce chapitre, une définition des agents et ses différents modèles sont donnés. Ensuite le SMA, sa structure et les différents types d'interaction entre ses agents est présenté, puis une analogie entre le SMA et la Chaîne Logistique est aussi donnée. Finalement, une revue de littérature sur les travaux de recherche utilisant les SMA dans le contexte du GSCM est étudiée.

1 Le concept d'agent

1.1 Définition d'un agent

Il n'existe pas un consensus dans la littérature scientifique concernant la définition de la notion agent vu que les disciplines dans lesquelles il fait références sont nombreuses et diversifiées. Pourtant, ils existent quelques définitions qui sont largement acceptés au sein de la communauté scientifique. Le tableau 7 résumant ces définitions :

Tableau 7. Définitions d'un agent

Auteurs	Définition d'un agent
(Ferb, 1995)	<p>Un agent est une entité physique ou virtuelle :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Qui est capable d'agir dans un environnement, • Qui peut communiquer directement avec d'autres agents, • Qui est mue par un ensemble de tendances (sous la forme d'objectifs individuels ou d'une fonction de satisfaction, voire de survie, qu'elle cherche à optimiser), • Qui possède des ressources propres, • Qui est capable de percevoir (mais de manière limitée) son environnement, • Qui ne dispose que d'une représentation partielle de cet environnement (et éventuellement aucune), • Qui possède des compétences et offre des services, • Qui peut éventuellement se reproduire, • Dont le comportement tend à satisfaire ses objectifs, en tenant compte des ressources et des compétences dont elle dispose, et en fonction de sa perception, de ses représentations et des communications qu'elle reçoit.
(Wooldridge et Jennings, 1995)	<p>Un agent peut être défini à travers les propriétés suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Autonomie : l'agent opère sans intervention humaine et ne subit aucun contrôle sur les actions qu'il réalise. • La réactivité : l'agent perçoit et interagit avec son environnement et répond d'une manière aux changements qui se produisent dans celui-ci • La proactivité : l'agent peut prendre des initiatives et doit être capable de montrer des comportements dirigés par des buts internes • La sociabilité : En utilisant les langages de communication, les agents peuvent interagir entre eux.
(Jennings et al, 1998)	<p>Un agent est un système informatique situé dans un environnement, et qui agit d'une façon autonome et flexible pour atteindre les objectifs pour lesquels il a été conçu.</p>
(Morvan, 2009)	<p>Un agent peut être défini comme une « entité agissante ». Le terme Agent ou Agent computationnel, dans les sciences de l'information, est utilisé pour désigner un système informatique, logiciel et/ou matériel, autonome et capable d'agir dans environnement, de le percevoir, de le représenter et d'interagir avec d'autres agents. Les actions d'un agent ont un but sans en être nécessairement.</p>

D'après ces définitions, l'agent peut être défini comme étant une entité physique ou virtuelle autonome, qui a la possibilité de percevoir une partie de son environnement, agir sur cet environnement et aussi communiquer et coopérer avec les autres agents afin d'atteindre les objectifs pour lesquels il a été conçu.

1.2 Modèles d'agent

L'agent est conscient des changements dans son environnement et il a la capacité d'agir sur ces changements. Le problème est donc de déterminer la ligne de conduite la plus appropriée parmi les actions possibles pour permettre à l'agent d'atteindre ses objectifs (Wooldridge, 1998). Outre le domaine d'application, l'environnement, l'interaction et le modèle organisationnel influencent également le choix ou la conception des modèles d'agents. Trois architectures principales apportent des réponses à ces problèmes de décision : l'architecture d'agent réactif, l'architecture d'agent cognitif et l'architecture d'agent hybride.

1.2.1 Agents réactifs

Le comportement de ces agents est régi par un ensemble de règles qu'ils exécutent en réponse à des stimuli environnementaux. Ces agents n'ont aucune indication claire de leur environnement. De plus, ils n'ont pas de mémoire ou d'objectifs clairs et utilisent des protocoles et des langages de communication simplifiés. Les agents réactifs n'ont pas de comportements personnels intelligents, mais les comportements qui émergent de leurs interactions peuvent être intelligents.

La simulation constitue un domaine privilégié pour l'utilisation de systèmes réactifs, (Bousquet et le page, 2001). Le premier lot de travail basé sur cette méthode est similaire à l'architecture Subsumption proposée dans (Brooks, 1986). Selon cette architecture, l'agent a un ensemble de comportements qui se superposent en fonction de leur complexité. La figure 20 illustre sa structure :

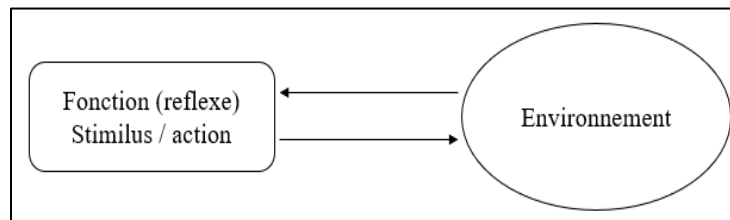


Figure 20. *Agent réactif*

Ces comportements se situent entre la perception et l'action. Un comportement peut inhiber tout comportement de niveau inférieur. Dans l'approche de la solution éco résolution, l'agent recherche un état de satisfaction en recourant à trois comportements (satisfaction, agressivité et fuite). Dans le système MANTA (modélisation des activités ANThill), l'agent dispose de trois types d'opérations (perception, sélection et activation) pour effectuer un ensemble de tâches (Drogoul, 1993). Celles-ci sont caractérisées par trois paramètres (poids, seuil et niveau d'activation), qui varient en fonction des stimuli environnementaux. Après avoir activé la tâche, l'agent effectue une série d'opérations primitives sur l'environnement via son effecteur. Ces agents représentent des phéromones synthétiques et des robots porteurs. Les véhicules robots utilisent des phéromones pour se déplacer dans des missions de combat. La métaphore de la société des insectes est largement utilisée pour définir les systèmes réactifs (par exemple la science du comportement). Dans ces sociétés, les activités individuelles sont coordonnées sans impliquer de communication ou de raisonnement compliqués. Selon Bonabeau et al., (1999), de nombreux modèles sont proposés, inspirés des phénomènes comportementaux des communautés d'insectes.

1.2.2 Agents Cognitifs

Les agents cognitifs ont une expression claire de l'environnement et des autres agents. Ils peuvent considérer leur passé et avoir des objectifs clairs. Ces agents peuvent effectuer des opérations complexes et mettre en œuvre un modèle collaboratif pour résoudre des problèmes. Selon Ferber (1991), Les systèmes cognitifs comprennent un petit nombre d'agents, ils ont des capacités de raisonnement basées sur le traitement des informations, diverses connaissances liées au domaine d'application, et autres informations relatives à la gestion des interactions des agents et de l'environnement. La structure du système du sujet cognitif est composée de mécanismes de prise de décision illustrée par la figure 21 :

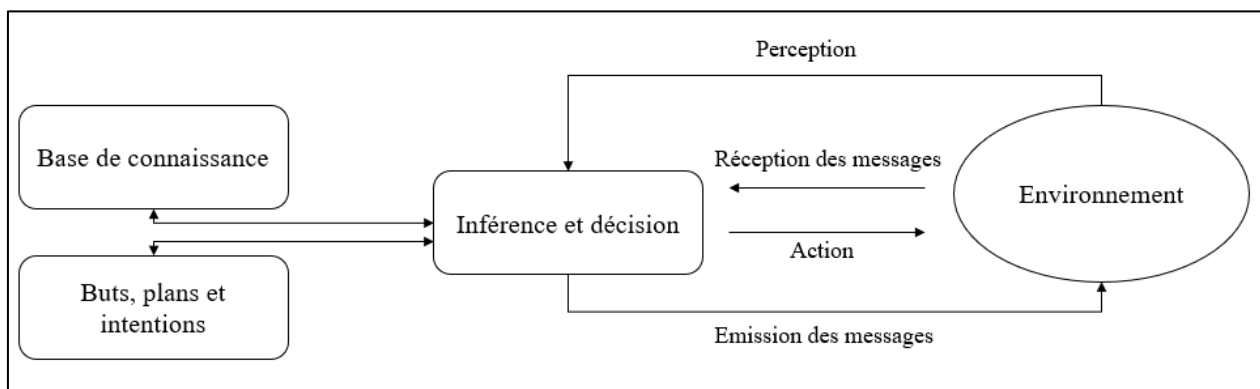


Figure 21. *Agent cognitif*

Sur la base de la représentation de son environnement, l'agent met en œuvre ces mécanismes basés sur le raisonnement pour déterminer les actions à effectuer. Il existe deux méthodes de conception d'architecture d'agents cognitifs basées sur le concept d'états mentaux, qui permettent de préciser le mécanisme de décision à adopter. L'architecture BDI (Belief, Desire, Intent) caractérise les agents par leurs croyances, leurs désirs et leurs intentions (Rao et Georgeff, 1991). Les croyances représentent la connaissance que l'agent a de l'environnement et d'autres agents qui existent dans le même environnement. Les désirs correspondent aux différents états vers lesquels les représentants d'entreprises peuvent souhaiter migrer.

L'intention indique l'état que l'agent a choisi de soumettre. L'agent modifie ses croyances en fonction des informations qu'il perçoit de l'environnement, définit différentes options (en fonction de ses désirs et intentions actuels), filtre les choix possibles, et met en œuvre les actions à entreprendre selon les intentions suivantes: en fonction du type BDI d'architecture: IRMA (Intelligent Resource Limited Machine Architecture) (Bratman, 1987), PRS (Process Reasoning System) (Georgeff & Lansky, 1987), suivis de DMARS (système de raisonnement multi-agents distribué) (Dinverno et al., 1997), et enfin RETSINA (environnement de tâches réutilisables) (Sycara et al., 2003).

Le tableau 8 résume les caractéristiques des agents réactifs et cognitifs.

Tableau 8. *Comparaison entre agents cognitifs et agents réactifs (Hassaine, 2009)*

Systèmes d'agents cognitifs	Systèmes d'agents réactifs
Présentation explicite de l'environnement	Pas de représentation
Peut tenir compte de son passé	Pas de mémoire de son historique
Agents complexes	Fonctionnement stimulus / action
Petit nombre d'agents	Grand nombre d'agents

Le choix du système d'agents dépend des besoins de l'utilisateur ainsi que les caractéristiques de l'environnement des agents. Néanmoins, les agents cognitifs et réactifs peuvent être combinés en agents hybrides.

1.2.3 Agents Hybrides

Un agent hybride est une structure d'agent qui combine un système réactif et un système cognitif. Le système de réponse fournit des actions réflexes en réponse à des stimuli environnementaux. Ces opérations ne nécessitent pas de raisonnement complexe. L'architecture InteRRaP (Integrating

Reactive Behavior and Rational Planning) consiste en une hiérarchie de trois couches parallèles (Miller, 1997). La figure 22 illustre la structure de l'agent hybride :

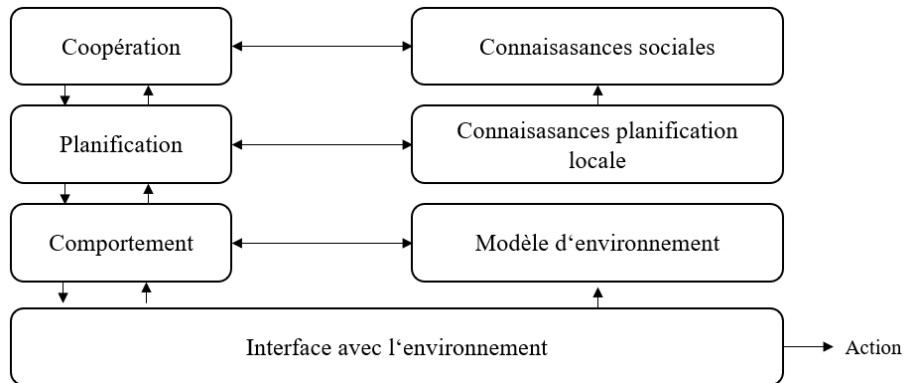


Figure 22. Agent hybride

La première couche, le comportement, est la partie réponse de l'agent. Ce dernier répond aux changements environnementaux en fonction de règles de fonctionnement définies pour l'exécution des tâches de routine. La deuxième couche est le plan local, qui constitue la partie cognitive de l'agent, cela permet la sélection d'un plan commun axé sur les objectifs. Le troisième niveau de « coopération » implique un plan de coopération pour la modélisation et la gestion des interactions avec d'autres agents (par exemple, la mise en œuvre de stratégies de négociation). L'agent dispose d'une base de connaissances hiérarchique, qui peut assurer la manipulation de l'information et la révision des croyances. Le premier niveau de la base de connaissances associé à la couche de comportement implique le modèle du monde (la croyance de l'agent dans l'environnement).

2 SMA

2.1 Définition

Un SMA est un ensemble d'agents opérant dans le même environnement. Il fournit les moyens de communication aux agents, qui interagissent pour accomplir les missions globales du système (Wooldridge et al., 1998). Les SMA sont des entités qui interagissent pour produire comportements collectifs. Ceux-ci permettent de réduire la complexité lors de la résolution d'un problème en divisant les connaissances requises en sous-ensembles, en associant l'agent intelligent indépendant à chaque ensemble, et en coordonnant l'action de l'agent (Ferber, 1995). Le SMA peut aussi être défini comme un ensemble organisé d'agents chargés d'atteindre un objectif commun (Briot et al., 2001). En fait, le SMA est un système distribué qui convient parfaitement comme une collection

d'agents interagissant par un mécanisme de coopération, de coordination, de négociation ou de communication (Chaibdraa et al., 2002).

Quel que soit le domaine d'application ou l'intelligence de l'agent, le développement d'un SMA nécessite la définition d'un certain nombre d'éléments. La figure 23 illustre les éléments d'un SMA.

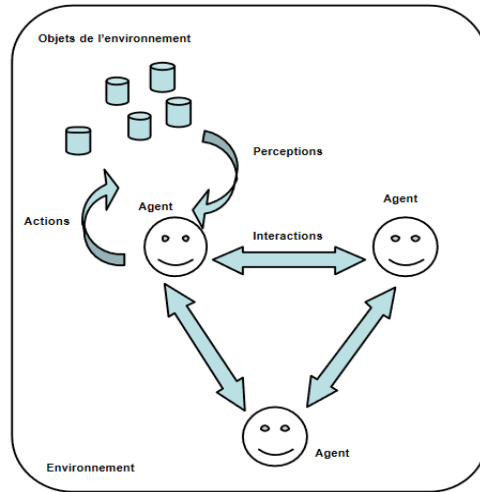


Figure 23. Structure d'un système multi agents (Ferber, 1995)

Selon Ferber (1995), les éléments qui constituent un système multi-agents sont les suivants :

- Environnement E, c'est-à-dire l'espace qui contient généralement des métriques.
- Un ensemble d'objets O. Ces objets peuvent être localisés, ce qui est possible pour la position en E. Ces objets sont passifs et peuvent être perçus, créés, détruits et modifiés par l'agent.
- Un groupe d'agents A, ce sont des objets spécifiques représentant les entités actives du système.
- Un ensemble de relations R qui combinent des objets (et des agents) entre objets.
- Un ensemble d'opérations Op, permettant à l'agent d'A de percevoir, produire, utiliser, transformer et manipuler les objets O.
- Les opérateurs chargés de représenter les applications de ces opérations et la réponse du monde à de telles tentatives de modification sont appelés les lois de l'univers.

2.2 Interactions entre agents

Pour concevoir un SMA, il ne suffit pas de placer plusieurs agents dans le même environnement, l'interaction entre ces agents est également nécessaire. De nombreux aspects doivent être pris en compte dans l'analyse et le développement des SMA. Dans la méthode Vowel AEIO de Demazeau (1996), quatre dimensions sont déterminées : agent, environnement, interaction et organisation. Le

modèle d'organisation se concentre sur la structure et les règles de cohabitation entre les sujets (structure hiérarchique, auto-organisation, etc.). Le modèle d'interaction doit formuler un ensemble de règles en fonction de la granularité de l'agent (communication, coordination, etc.). Le modèle d'environnement correspond à l'environnement dans lequel l'agent évolue (par exemple : représentation spatiale). Le modèle d'agent implique notamment la description interne de l'agent (architecture, représentation des connaissances, etc.). De plus, un SMA est un système dans lequel plusieurs entités coexistent dans un environnement commun. Ce type de cohabitation s'effectue selon une méthode compétitive ou coopérative (délégation de tâches, réalisation d'objectifs communs, partage de ressources, etc.). La question de la coopération tente de répondre aux questions suivantes : qui fait quoi, quand, où, comment, quelles ressources à utiliser, dans quelles conditions et avec qui le faire. L'interaction entre les agents peut être déterminée par des objectifs (compatibles ou incompatibles), des ressources (avec ou sans conflit) ou des capacités d'agent (suffisantes ou insuffisantes). La communication (par envoi de messages) permet de développer différents types d'interactions dans des contextes conflictuels ou non : de la coordination, la collaboration, la coopération et la négociation.

L'interaction est le processus consistant à relier dynamiquement deux ou plusieurs agents entre eux par une série d'actions mutuelles. C'est un élément nécessaire de l'organisation. La relation générée par diverses formes d'interaction peut provoquer diverses situations (collaboration, conflit, compétition, coordination, négociation, dépendance, etc.). Ces différentes formes d'interaction sont décrites en détail dans Weiss, (1999). Les agents peuvent interagir directement avec les autres agents, ou ils peuvent interagir indirectement en modifiant leur environnement. Les principales interactions entre les agents dans un SMA sont les suivantes :

- Interaction directe : Un agent communique par envoi de messages asynchrone vers un autre agent ou ensemble d'agents.
- Interaction indirecte : la communication est réalisée au travers de l'environnement.

2.2.1 Coordination

La coordination est un processus dans lequel un ou plusieurs agents résonnent entre leurs actions locales et les actions (attendues) des autres pour assurer la continuité des actions (Jennings, 1996). Du point de vue des SMA, le but de la coordination est de s'assurer que les activités des agents peuvent résoudre toutes les composantes du problème global, et que l'interaction entre les agents est cohérente et adaptée à des solutions globales. Les groupes définis sont cohérents (Shaw, 1998).

La coordination est un attribut d'un système d'agent qui exécute des activités dans un environnement partagé. Le but est d'avoir un système plus cohérent. Le degré de coordination peut être considéré comme le nombre des autres activités nécessaires pour éviter les activités redondantes. Dans un environnement aux ressources limitées, l'utilisation de la coordination peut conduire à des comportements individuels visant à satisfaire ses propres intérêts tout en essayant d'atteindre les objectifs globaux du système. Afin de produire un système coordonné, il faut distribuer le contrôle et les données. La répartition des droits de contrôle conduit à l'autonomie d'action de chaque acteur et au choix des sous-objectifs. Le principal inconvénient de cette configuration est la répartition dans l'ensemble du système de connaissances, c'est-à-dire que chaque agent n'a qu'une vue partielle de l'ensemble, ce qui conduit à une augmentation de l'incertitude du niveau de comportement de chaque agent (Hassaine, 2009).

2.2.2 Collaboration

La collaboration est un travail commun entre plusieurs personnes ou agents qui produit un résultat commun. Afin d'effectuer ce travail correctement, les agents doivent se coordonner et communiquer les uns avec les autres. Afin de se coordonner, les agents doivent suivre les activités des autres participants pour utiliser les ressources publiques. La collaboration peut également être effectuée par la communication entre agents. Depuis lors, la communication entre les différents membres de l'équipe est essentielle au succès du travail collaboratif.

2.2.3 Coopération

Les agents travaillent dans le but d'atteindre un objectif commun ou personnel, le but est d'améliorer le fonctionnement de l'agent selon l'efficacité et rationalité de l'échange d'informations, l'efficacité de la stratégie de résolution adoptée, et l'équilibrage dynamique de la charge de travail. Par conséquent, la coopération englobe la collaboration, la coordination, la résolution des conflits, et la négociation pour limiter l'impact des conflits. Trois types de coopérations entre les agents existent :

- Coopération contradictoire : cette tâche est effectuée par différents agents (en fonction de leurs performances ou de leurs opinions), puis les résultats sont combinés.
- Coopération renforcée : cette tâche est effectuée par des agents qui ont les mêmes compétences mais doivent traiter d'autres données. Les résultats obtenus sont un ensemble de résultats partiels.

- Coopération globale : la tâche est décomposée en sous-tâches, et la réalisation (coordination) des sous-tâches est effectuée par des agents dotés de compétences spécifiques. Le résultat est obtenu une fois l'exécution terminée.

2.2.4 Négociation

La négociation est le processus de prise de décision partagée par deux ou plusieurs agents. Chacun d'eux essaie d'atteindre ses propres buts ou objectifs personnels. Les agents communiquent leur position (la source du conflit) et se déplacent, faisant des concessions et recherchant des alternatives. Les principaux éléments sont le langage utilisé par l'agent, l'accord que l'agent suit pendant le processus de négociation et le processus que chaque agent utilise pour déterminer sa position, les concessions possibles et les normes pour parvenir à un accord (Hassaine, 2009). La négociation fait référence au processus dans lequel les agents résolvent les conflits en coordonnant leurs actions, en partageant des ressources limitées et en proposant différents points de vue pour satisfaire au mieux leurs intérêts respectifs.

Afin de négocier, les agents doivent utiliser diverses techniques d'intelligence artificielle et mathématiques (logique, raisonnement basé sur des cas, révision des croyances, optimisation, théorie des jeux, etc.) pour raisonner sur les croyances, les souhaits et les intentions des autres agents. Ils doivent également utiliser le même langage pour communiquer selon les règles suivantes :

- La communication doit être asynchrone et non pertinente.
- L'agent ne doit pas avoir toutes les connaissances des autres agents.
- Si la proposition de contrat n'est pas acceptée, l'agent doit être en mesure de modifier d'autres contrats et de négocier des modifications de contrat par d'autres interlocuteurs.
- Plusieurs négociations doivent être menées en même temps et certains contrats doivent avoir une priorité plus élevée que d'autres.
- Certains participants devraient recevoir une priorité plus élevée que d'autres.
- Le système ne doit pas se bloquer.

On distingue entre deux types de négociation :

- Négociation compétitive : Des agents d'intérêts différents essaieront un ensemble d'options sur des alternatives bien définies. Ils ont des objectifs indépendants et interagissent les uns avec les autres. Ils ne sont pas a priori coopératifs, mais partagent des informations, telles que l'achat et

la vente sur le Web, l'accès aux ressources publiques, la prise de rendez-vous, le partage de tâches, le commerce électronique, etc.

- Négociation coopérative : Les agents ont un objectif commun, ils collaborent et coopèrent. Par exemple : contrôle aérien, collaboration stratégique dans le domaine de la guerre navale pour définir la meilleure stratégie, ...

Le tableau 9 résume les composants nécessaires dans un modèle de négociation des agents.

Tableau 9. *Composants d'un modèle de négociation*

Composant	Description
Langage de négociation	Consiste en un ensemble de primitives de communication, ces primitives spécifient la manière dont l'agent communique
Protocole de négociation	L'ensemble de règles qui contrôle la négociation (avis juridique, statut de la négociation)
Objets de négociation	Les négociations sont liées à ces objets (par exemple, prix, délai, temps de réponse)
Processus de décision	Il s'agit du cœur de l'opération et de l'intelligence de la négociation. Il guide la stratégie de l'agent pendant le processus de négociation. La stratégie peut être entièrement définie et immuable, ou elle peut être modifiée (observation, hypothèse) en fonction de stratégies des autres agents
La cardinalité des participants de la négociation	Négociations un-à-un, un-à-plusieurs et plusieurs-à-plusieurs

Les éléments présentes en dessus sont essentiels afin de réussir un processus de négociation entre les différents agents.

2.3 Communication des agents

Afin de communiquer, l'agent doit être en mesure d'envoyer et de recevoir des messages via le réseau de communication. L'agent peut avoir des rôles passifs, actifs (les deux) ainsi que des rôles de maître et d'esclave. Dans ce cas, les messages peuvent être de différents types. Les deux plus petits types sont la demande et la réponse. Tout agent (quel que soit son rôle) peut accepter ou rejeter des messages, et peut donc recevoir des assertions. Pour jouer un rôle passif, l'agent doit être en mesure de répondre en acceptant des questions externes et en envoyant la réponse à la source (déclaration).

Pour jouer un rôle actif, l'agent doit être capable de poser des questions et de faire des suggestions. Par conséquent, il peut contrôler un autre agent via la question / réponse. Dans les opérations d'égal à égal, l'agent à ces deux rôles. La théorie du comportement du langage révèle les types d'informations.

Le protocole de communication est défini à plusieurs niveaux. Le plus bas définit la méthode d'interconnexion, et le milieu définit le format, la syntaxe ou le type de transmission. En haut, on retrouve la compréhension et la sémantique, cette dernière (entre autres) se référant au type de message. Le protocole peut être binaire ou à n éléments, et peut être défini avec une structure de données à cinq champs : émetteur, récepteur, langage de protocole, codage et décodage d'informations

2.3.1 Actes de langage :

La théorie des actes de langage est un cadre d'analyse de la communication langagière entre les personnes. Elle voit la communication comme des actions de demande, suggestion, promesse, réponse, etc. L'acte de parole a trois caractéristiques : l'expression verbale (phénomène physique), l'intention du locuteur de comprendre en exprimant cette phrase et l'acte verbal (Hassaine, 2009). Le comportement du langage est une manière de définir des types de messages et de contraindre la sémantique de la communication. La langue de communication est nécessaire pour envoyer, recevoir et interpréter les messages. Ces langages permettront de prendre en charge la communication entre agents. Il existe deux principaux langages de communication, tous deux dérivés de la théorie des actes de langage proposée par (Searle, 1969).

2.3.2 Langages de communication

Les langages de communication des agents les plus connus sont KQML développé en 1993 par le consortium, ACL proposé en 1997 par la FIPA.

Ces langages sont basés sur la définition de performatives (KQML) ou du comportement communicatif (ACL), qui abandonnent l'expression qui constitue le comportement (l'achèvement du comportement). KQML et ACL diffèrent dans la sémantique du comportement du langage utilisé. En effet, le langage ACL inspiré des travaux de KQML propose un langage dans lequel la définition du protocole d'interaction est ajoutée (Koning & Pesty, 2001). Le protocole constitue la base de l'interaction entre agents et assure la cohérence des échanges de messages. Le protocole peut spécifier des interactions en spécifiant la nature du comportement de communication, le rôle

de l'agent et l'ordre des messages. L'utilisation des actions de communication constitue un élément clef dans la mise en œuvre d'un processus de coordination entre agents.

2.4 Méthodologies de conception d'un SMA

L'élaboration du SMA nécessite l'adoption d'une méthodologie qui commence par l'identification des besoins essentiels du concepteur jusqu'à la mise en place d'un système capable de répondre à ces besoins initiaux. La littérature rapporte un ensemble d'approches de développement orientées agents qui peuvent être classées selon trois axes (Gleizes et al., 2009).

2.4.1 Les extensions d'approches orientées objets

- Aaii : Méthodologie de l'Institut australien d'intelligence artificielle (Kinny, 1996). Elle est conçue pour la gestion du trafic aérien et dédiée à la conception des agents BDI (Belief-Desire-Intention).
- Gaia : est un cadre de développement de systèmes multi-agents développé par Ferrand (1998). Cette approche représente un environnement idéal de prototypage et d'exécution pour les acteurs basé sur le concept de groupes et de rôles. Elle s'intéresse à la conception et à la mise en œuvre du SMA d'un point de vue organisationnel.

2.4.2 Les approches dérivées de l'ingénierie de la connaissance :

- Desire: Design and Specification of Interacting Reasoning framework (Brazier et al., 1997). Il s'agit d'une méthode issue directement de l'ingénierie de connaissances qui manipule les structures de connaissances, les décompositions de tâches, les échanges d'information, l'ordonnancement et la délégation de tâches.
- MAS-CommonKads : est une extension de CommonKads qui ajoute des techniques issues des méthodes orientées objet, des techniques de conception de protocoles pour modéliser les agents et leurs interactions (Iglesias et al., 1998).

2.4.3 Les méthodes moins centrées sur la notion de système multi-agents :

- Voyelles : Cette approche de Demazeau (2001) est basée sur la décomposition d'un système multi-agents en quatre composantes ou cubes (A, E, I, O) : Agent, Environnement, Interaction, Organisation. Il s'agit d'une méthode de haut niveau très souvent citée dans la littérature car entièrement basée sur les principes multi-agents.

- Cassiopee : est une méthode développée par Collinot et Drogoul (1998). C'est une méthode ascendante, qui commence par des actions essentielles à l'obtention d'une tâche globale pour arriver à la définition des rôles organisationnels et structures collectives.

Il n'existe pas de méthode parfaite qui guide le concepteur de l'analyse à la mise en œuvre. Chacun choisit la méthode qui convient le mieux à ses besoins et à ses objectifs. Pour cette étude, L'approche Voyelle est adoptée car elle répond mieux aux exigences du cas d'étude considéré. En effet, cette approche est caractérisée par sa vision générale qui permet de considérer la conception d'un SMA selon la dimension la plus importante sans en privilégier une. Ceci facilite la conception du SMA afin de répondre à la problématique initiale.

2.5 Les plateformes des SMA

La simulation multi-agents consiste à utiliser un ensemble d'agents en interaction pour reproduire des dynamiques et évaluer les phénomènes que l'on veut simuler. Elle est considérée comme une alternative à la simulation classique, qui s'appuie sur des modèles analytiques. L'exécution et le déploiement des agents s'effectuent via des plateformes dédiées et basées sur des agents.

Une plate-forme basée sur des agents est définie comme tout logiciel, application ou environnement de développement qui fournit aux constructeurs d'agents un niveau d'abstraction suffisant pour leur permettre de déployer des agents intelligents avec les propriétés, les caractéristiques et les règles souhaitées.

Il existe différents types de plates-formes à base d'agents, qui collectent des outils de nature différente dans un certain but général et utilisés dans le développement du SMA (Bakhta, 2013).

- Plate-forme de simulation : reproduire l'environnement ou le comportement d'un système complexe pour étudier sa dynamique
- Plate-forme d'exécution : fournit des outils d'implémentation à partir de modèles spécifiques
- Plate-forme de développement : apporte un support à la méthodologie en fournissant des outils d'aide au processus de conception.

Plusieurs études abordent et présentent les plateformes à base d'agents. Le tableau 10 présente une comparaison entre les plateformes les plus utilisées.

Tableau 10. *Comparaison des plateformes de développement des SMA*

Plate-forme	Développeur	Language	Type d'agents		Domaine principal
			Cognitive	Réactif	
AnyLogic	The AnyLogic Company	Java, UML-RT	X	X	Usage général à base d'agents
Cormas	Agronomy research institute CIRAD	Smalltalk	X	X	Gestion des ressources naturelles
Swarm	Santa Fe Institute	Java Objective C		X	Simulations de grands
MadKit	GutKnecht,	Java	X		Usage général à base d'agents ;
JADE	Telecom Italia lab	Java	X		Applications distribuées composées de simulations autonomes.
NetLogo	Uri Wilensky	NetLogo		X	Sciences naturelles et sociales

D'après la comparaison ci-dessus, chaque plateforme a ses propres caractéristiques pour le développement des SMA. Le choix repose sur des critères comme le domaine d'application, les types d'agents choisies ainsi que le langage utilisé. Dans le cadre de cette étude, la plateforme JADE (Java Agent Development Framework) est utilisée pour faire la simulation du SMA développé. Le choix est justifié par la nature distribuée de cette architecture SMA.

3 Les SMA et la Chaîne Logistique

3.1 Analogie entre SMA et la Chaîne Logistique

Dans la littérature, plusieurs chercheurs s'intéressent à l'approche multi agent pour la modélisation et la simulation des différents problèmes liés à l'industrie tel que : la gestion de crise (Magarino et

al., 2013), gestion de production (Kruger et al.,2011), et gestion des risques dans les chaînes logistiques (Giannakis et al., 2011).

L'application de systèmes multi-agents comme méthode de modélisation dans un environnement industriel permet de représenter le centre de décision sous la forme d'un réseau de gestion de système de production (Bauer et al., 2002). Ainsi, la modélisation via des systèmes multi-agents permet de comprendre la nature dynamique de la Chaîne Logistique, ce qui permet d'étudier la coordination des ressources associées à chaque entreprise interactive. La Chaîne Logistique et les systèmes multi-agents peuvent être définis comme un réseau d'entités qui peuvent coopérer pour atteindre des objectifs communs et personnels, partager des ressources et résoudre des problèmes. Ces problèmes dépassent leurs capacités ou connaissances personnelles. De manière générale, on retrouve les analogies suivantes entre les chaînes logistiques et les systèmes multi-agents :

- Diversité des entités actives : plusieurs entités avec des rôles et des compétences différentes pour effectuer des tâches communes.
- Attributs de l'entité : les participants ont les objectifs, les moyens et les compétences nécessaires pour exécuter la tâche, et ils suivent un ensemble de règles de gestion. Les agents ont des objectifs, des compétences, des rôles et des capacités de raisonnement et peuvent atteindre ces objectifs selon divers modèles de prise de décision complexes.
- Compétences sociales de l'entité : les décisions sont prises par des méthodes de coordination et / ou de négociation entre les participants. L'agent est autonome, sensible aux changements de l'environnement, proactif (prendre des décisions et agir de manière proactive) et possède des compétences sociales.
- Capacité de décision : l'apprentissage et le raisonnement sont nécessaires à la prise de décision individuelle et collective des acteurs. L'agent peut acquérir des capacités de raisonnement, des connaissances ou les modifier par l'interaction avec l'environnement.
- Coordination entre les entités : coordonner les participants en partageant du matériel, des informations, de l'argent ou des processus décisionnels. Coordonner les activités des agents par l'interaction avec d'autres agents.
- Distribution de l'information et caractère incomplet : les participants accèdent à des informations incomplètes partagées le long des limites du système. L'agent a des informations incomplètes et le partage d'informations et / ou de connaissances est effectué par échange de messages.

- Division des tâches : les tâches des participants peuvent être décomposées et attribuées à d'autres participants. Les agents peuvent déléguer des tâches ou partager des tâches pour résoudre des problèmes complexes.
- Évolutivité du système : structure dynamique, les participants rejoignent ou quittent la Chaîne Logistique

Les agents peuvent rejoindre le système et d'autres agents peuvent être détruits. La chaîne d'approvisionnement et les systèmes multi-agents sont des systèmes composés d'entités qui interagissent en fonction de leurs rôles et compétences. Ces interactions sont réalisées au sein de la structure organisationnelle (société ou agence). Dans ces structures, les acteurs et agents disposent des moyens, des ressources et des capacités qui leur permettent d'accomplir diverses fonctions, tâches ou activités individuellement ou collectivement. Par conséquent, la modélisation et la simulation au moyen de systèmes multi-agents peuvent être envisagées :

- La nature distribuée du système facilite la prise en compte de la non-linéarité du comportement individuel.
- L'environnement changeant, c'est-à-dire l'autonomie de l'agent pour répondre aux changements environnementaux de manière autonome ou proactive.
- Compte tenu de la complexité et de la variabilité de la prise de décision, cela est dû à la capacité des agents à résoudre les problèmes de manière distribuée grâce à la coopération.
- Pas de comportement coopératif d'altruisme. La capacité de l'agent à résoudre des problèmes par interaction peut reproduire le comportement coopératif des entités du système.

Ces analogies montrent que les individus ont des informations, des connaissances incomplètes ou des capacités limitées. En outre, le contrôle, les données, les informations, les connaissances et le pouvoir de décision sont également dispersés dans le système.

3.2 Les SMA et le GSCM

La Chaîne Logistique a les mêmes caractéristiques qu'un SMA puisqu'elle est composée de plusieurs acteurs autonomes qui jouent des rôles spécifiques tout au long de la chaîne. Dans le cadre du GSCM, plusieurs chercheurs utilisent des SMA pour modéliser et simuler des problèmes liés au GSCM. Le tableau 11 illustre quelques travaux sur le GSCM à travers une approche multi agent.

Tableau 11. *Travaux de recherche de l'application des SMA dans le contexte du GSCM*

Auteurs	Processus GSCM	Méthodologie	Description	Résultats
(Ben Mekki, Tounsi & Ben Said, 2019)	Tous les processus	Modèle conceptuel	Système dynamique intelligent basé sur l'interaction des agents pour étudier la durabilité dans le contexte des PME	MAS aide à mettre en évidence le processus d'évaluation de la durabilité dans le contexte des PME
(Ghadimi, Toosi & Heavey, 2018)	Achat écologique	Etude de cas	Fournir des processus d'échange d'informations structurés pour prendre de meilleures décisions d'approvisionnement durable en maintenant un partenariat à long terme entre le client et ses fournisseurs.	MAS est capable de réduire les problèmes de communication et d'échange d'informations dans le processus de sélection des fournisseurs durables
(Giret & Salido, 2017)	Fabrication verte	Etude de cas	Développer une plate-forme de système de fabrication durable soutenue par des agents logiciels intelligents	MAS aide à inclure la durabilité dans les systèmes de fabrication
(Mishra, Kumar & Chan, 2012)	Logistique inverse	Etude de cas	Résoudre la complexité de l'inclusion de la gestion et du recyclage des déchets dans le GSCM	Prise de décision efficace allant de la collecte des déchets à la distribution de composants recyclés à la fabrication.

Le résultat de ces travaux de recherche donne des indications que le SMA peut résoudre les quelques problèmes de communication et de complexité dans le domaine du GSCM, et il aide à introduire des paramètres de durabilité tels que la préoccupation environnementale dans les processus de la Chaîne Logistique en boucle fermée. Concernant les protocoles de communication des SMA, le plus utilisé est la FIPA qui consiste à définir l'architecture de l'agent puis à utiliser les protocoles FIPA pour la communication et l'interaction entre agents. Le langage logique multi-agents pour l'encodage du travail d'équipe (MALLETT) est un cadre de langage d'agent, qui facilite

et gère les activités des agents via l'échange proactif d'informations. ANEMONA est une méthodologie SMA pour la conception et l'analyse des systèmes de fabrication holonique (HMS) basée sur la notion d'agent et les exigences HMS.

Conclusion

Ce chapitre présente un aperçu sur la technologie multi agents. Premièrement, une définition des agents et leurs différentes typologies sont donnés. Ensuite, les SMA sont étudiés à travers les méthodes de conception, les différents protocoles de communication et d'interaction entre les agents ainsi que les langages de programmation et les plates-formes de simulation. Une analogie entre les SMA et la Chaîne logistique est faite afin de déterminer le potentiel d'usage de ces systèmes dans les problèmes de la Chaîne Logistique. Les résultats de cette étude comparative confirment que les SMA font preuve d'une grande pertinence dans le traitement des problèmes liés à la Chaîne Logistique. De plus, les travaux de recherche qui explorent l'usage des SMA dans le GSCM sont étudiés à travers la méthodologie choisie ainsi que le contexte d'étude, mais plusieurs chercheurs appellent toujours à d'autres contributions concernant l'usage des SMA dans le GSCM.

Dans la partie qui suit, un modèle SMA est proposé dans le contexte du GSCM et les résultats de ce modèle sont valides à travers une étude de cas.

Chapitre III : Etude de cas d'une Chaîne logistique aval dans l'industrie automobile

Introduction : Dans ce chapitre, un modèle SMA est proposé et validé à travers une étude de cas d'une Chaîne Logistique aval. Dans un premier temps, une présentation de quelques notions théorique sur la Chaîne Logistique aval est donnée, puis une description du secteur d'activité qui fait l'objet de l'étude et sa relation avec les considérations environnementales. Ensuite, la présentation de l'étude de cas, l'architecture du SMA proposé ainsi que les interactions entre les différents agents sont exposées. Enfin, les résultats du modèle mathématique de livraison et du processus de négociation sont présentés et interprétés.

1 La Chaîne Logistique aval

Dans la littérature, Le terme Demand-Supply Chain, utilisé par Hoover et al. (2001), met en avant la conduite de la chaîne par le client et non par le fournisseur. Ce terme regroupe d'un côté la chaîne de demande et de l'autre la chaîne d'approvisionnement. Ainsi, la Chaîne Logistique peut être considérée de manière fragmentée, avec une partie amont et une partie avale séparées par ce qui est communément appelé le point de découplage.

Le point de découplage est le point de démarcation entre d'un côté la chaîne de demande (partie de la Chaîne Logistique basée sur la commande client) et de l'autre côté la chaîne d'approvisionnement (partie basée sur la planification). La figure 24 illustre la position du point de découplage dans la chaîne, cinq stratégies classiques qui se distinguent selon la position de ce point.

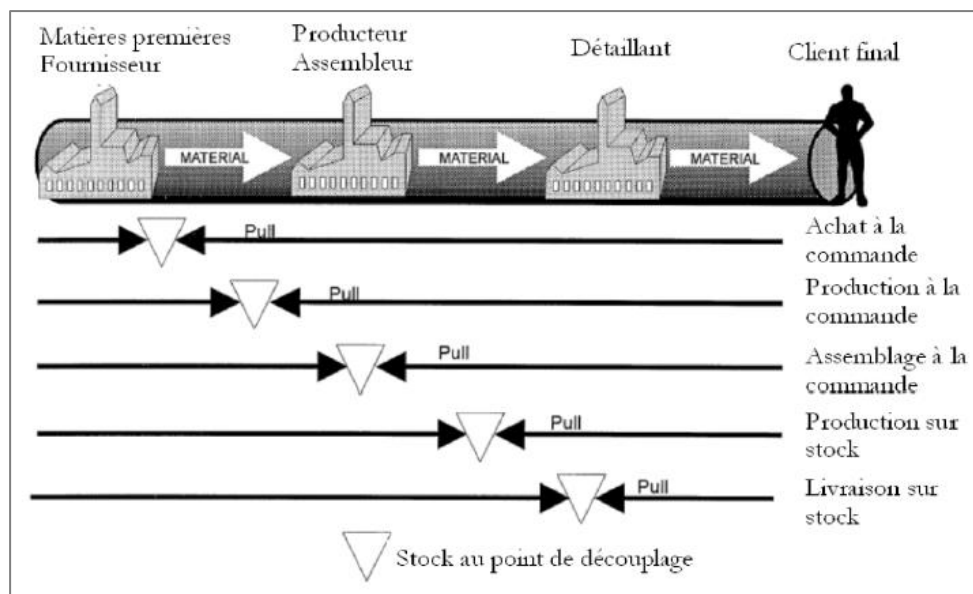


Figure 24. Chaîne Logistique aval et point de découplage (Hoekstra & Romme, 1992)

La partie avale de la Chaîne Logistique constitue la chaîne de demande. Elle est définie comme la chaîne d'activités qui communique la demande depuis le marché jusqu'au fournisseur (Hoover et al., 2001). Ce réseau complexe aide les entreprises à comprendre et gérer la demande du consommateur (Langabeer & Rose, 2001). Les fonctions situées en aval de la Chaîne Logistique sont les fonctions associées à la distribution physique des produits, au marketing, au service à la clientèle, etc

Le flux logistique aval fait référence au transport de marchandises hors de l'entreprise vers des associés externes. Il est destiné à aider les entreprises au sein d'une Chaîne Logistique à maximiser

la fiabilité et l'efficacité d'un réseau de distribution et à réduire et / ou minimiser davantage les coûts de transport et de stockage (Ayantoyinbo et al., 2018). La fonction principale de la logistique avale est essentielle pour livrer les produits aux clients (Rajahonka & Bask, 2016). De plus, Porter (2008) mentionne que de multiples activités sont associées à la logistique avale, c'est-à-dire la collecte, le stockage et la distribution physique des produits aux acheteurs tels que l'entreposage des produits finis, la manutention, l'exploitation des véhicules de livraison, le traitement des commandes et la planification. En outre, la logistique avale est un facteur critique pour un distributeur et peut créer des avantages supplémentaires afin de réduire les coûts et le gaspillage (Abushaikha et al., 2018).

2 Contexte d'étude considéré

L'industrie automobile est indubitablement l'une des industries les plus importantes et les plus influentes au monde. Il implique une grande variété d'entreprises participant à la conception, au développement, à la fabrication, à la vente et à la commercialisation d'automobiles et de leurs pièces de rechange. L'industrie contribue largement à l'économie mondiale et elle est l'un des secteurs économiques les plus importants en termes de revenus, de sorte que son chiffre d'affaires équivaut à la sixième économie mondiale. Outre l'impact économique, l'industrie contribue énormément au bien-être des personnes et de la société, en affectant remarquablement la qualité de vie d'un être humain. Avec la croissance de l'industrie et le taux de production, plus de véhicules sont vus sur les routes, apportant leur propre problème à la société. Les automobiles affectent l'environnement de diverses manières au cours de leur cycle de vie. Toute automobile, avant d'être prête à rouler, consomme une quantité considérable de matériaux tels que les plastiques, le caoutchouc, le verre, l'acier et bien d'autres, dont beaucoup sont difficiles et coûteux à recycler ou à éliminer. D'autre part, la consommation de carburant conduit à la pollution de l'air, qui affecte la qualité de l'air et aggrave le réchauffement climatique. Compte tenu de l'effet substantiel de l'industrie automobile sur les activités économiques, environnementales et sociales partout dans le monde, une gestion efficace de ce secteur est devenue vitale pour assurer le bien-être de la société. En raison de ces préoccupations, les constructeurs automobiles commencent à mettre en œuvre des pratiques particulières qui leur permettent d'intégrer des mesures de durabilité dans leurs opérations. Étant donné que les Chaînes Logistiques gèrent le flux de produits depuis leur stade initial jusqu'à ce qu'ils soient livrés aux utilisateurs finaux, l'accent mis sur le SCM est un pas vers

une exécution et un développement plus large de la durabilité, conduisant à la définition du GSCM en mettant l'accent sur l'aspect environnemental de la durabilité.

3 Etude de cas

Dans cette section, un scénario pratique à partir d'un cas d'étude industriel est adopté dans le secteur des pièces de rechange automobiles. La motivation principale d'une telle adoption est de montrer l'applicabilité du modèle SMA choisi en utilisant un scénario de cas réel avec des politiques de Chaîne Logistique pertinentes. Un seul produit est considéré pour cette étude de cas. Il a également été confirmé que seul le transport routier est utilisé comme mode de transport entre les nœuds de la Chaîne Logistique. Le client passe une commande auprès des distributeurs sur une base mensuelle, puis les distributeurs doivent faire une proposition sur les conditions de livraison et les coûts associés qui seront négociés avec le client avant l'exécution. Le processus commence par la commande client qui sera sauvegardée dans la base de données du système, puis le sous-modèle de livraison décrit dans la section suivante fournit la proposition de livraison, ensuite le processus de négociation débute entre les distributeurs et les clients. Dans un premier temps, un processus de négociation uniquement entre un distributeur et un client est étudié dans cette section, puis le modèle est généralisé dans le chapitre suivant.

3.1 Modèle SMA proposé

La figure 25 illustre le flux de travail du cadre SMA proposé.

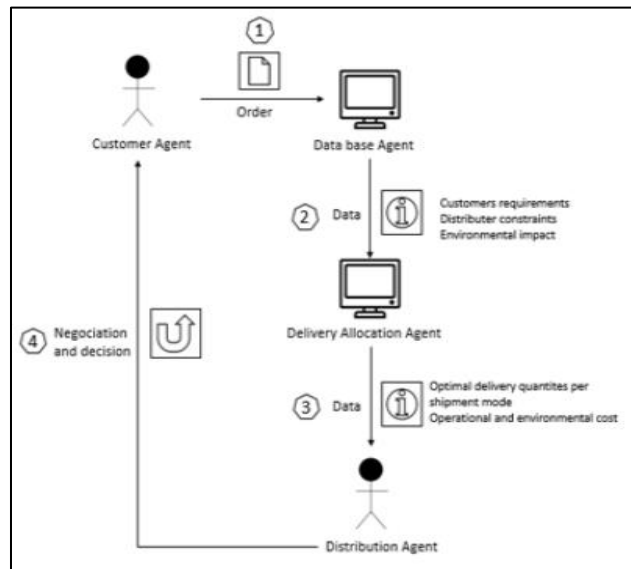


Figure 25. Flux de travail du SMA proposé

Dans cette étude, la Chaîne Logistique choisie est une chaîne à trois échelons qui peut être considérée comme un réseau de trois niveaux tels que le fabricant, le distributeur et le client. Ces trois membres en aval de la Chaîne Logistique devraient collaborer pour prendre une décision de livraison durable. L'entreprise de fabrication est le vendeur dans ce processus et son client est le distributeur, qui est le vendeur pour de nombreux clients. Dans la structure SMA suggérée, sept types d'agents sont identifiés : agents clients CA, agent d'allocation de livraison DAA2 (distributeur), agent de base de données DBA1 (distributeur), agent de distribution DA, allocation de livraison DAA1 (fabricant), agent de base de données DBA2 (fabricant) et Agent du fabricant MA. La figure 26 illustre les agents définis.

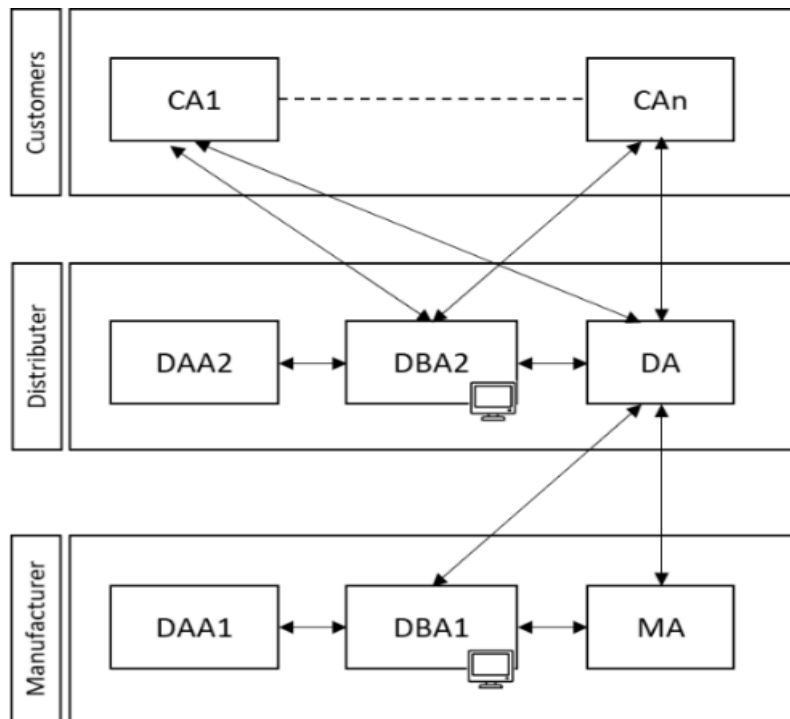


Figure 26. Structure SMA

Le tableau 12 décrit les rôles et les responsabilités de chaque agent du SMA

Tableau 12. Rôles et responsabilités des agents

Agent	Responsabilité	Agent	Responsabilité
CA	1. Envoyer la confirmation des commandes à DBA2	DBA2	1. Recevez les confirmations de commandes de CA
	2. Recevez une confirmation du DBA2 que les commandes sont reçues.		2. Enregistrer la confirmation des commandes de CA dans la base de données
	3. Recevoir le résultat de l'allocation de livraison de DA		3. Informez l'autorité de certification que les commandes sont enregistrées.
	4. Envoyer la confirmation de livraison à DA		4. Recevoir la demande de données d'allocation de livraison de DAA
DAA2	1. Demander les données d'allocation de livraison au DBA		5. Envoyer les données d'allocation de livraison à DAA
	2. Recevoir les données d'allocation de livraison du DBA		6. Recevoir les quantités livrées et enregistrez-les dans la base de données
	3. Calcule les quantités de livraison optimales à l'aide du modèle mathématique d'allocation des livraisons	DA	1. Demander le résultat de l'allocation de livraison à DAA2
	4. Demander les quantités de livraison à enregistrer dans la base de données par DBA.		2. Recevoir le résultat de l'allocation de livraison de DAA2
	5. Recevoir la confirmation CA pour procéder à la livraison		2. Informer et négocier le résultat de l'allocation de livraison avec CA
3. Recevoir la confirmation CA et procédez à la livraison			

Le succès d'une architecture multi-agents dépend d'une communication efficace entre les agents utilisant un certain langage ACL pour interpréter et manipuler les changements inattendus et les actions à entreprendre. Un langage de communication d'agent est un langage dont la syntaxe et la sémantique sont définies avec précision. Les messages ACL peuvent être basés sur les spécifications de communication de l'agent FIPA. De plus, les interactions SMA peuvent être réalisées à l'aide du langage de contenu FIPA, qui est un langage de contenu codé par chaîne. Dans cette étape de la conception du SMA, l'analyse des interactions des agents est effectuée à l'aide des protocoles d'interactions FIPA basés sur les responsabilités définies de chaque agent. Le tableau 13 montre ces interactions.

Tableau 13. *Interactions entre les différents agents*

Agent	Interaction	Protocole	Avec
CA	Envoyer la confirmation des commandes au DBA	FIPA request	DBA
CA	Envoyer la confirmation de livraison à DA	FIPA request	DAA
DAA2	Demander les données d'allocation de livraison au DBA	FIPA request	DBA
DAA2	Demander les quantités de livraison à enregistrer dans la base de données par DBA	FIPA request	DBA
DBA	Informez l'autorité de certification que les commandes sont enregistrées.	FIPA inform	CA
DBA	Envoyer les données d'allocation de livraison à DAA	FIPA inform	DAA2
DA	Demander le résultat de l'allocation de livraison à DAA2	FIPA request	DAA2
DA	Informez et négocier le résultat de l'allocation de livraison avec CA	FIPA inform	CA

3.2 Sous-modèle de livraison

Dans cette section, le modèle d'allocation de livraison de l'approche SMA développée est expliqué. Ce modèle mathématique est utilisé comme activité de comportement interne du DAA2 intégrant à la fois des indicateurs financiers et environnementaux et il est basé sur la programmation linéaire multi objective. En effet, la mesure du coût total pour rendre compte de toutes les dépenses financières liées à la livraison des produits et du coût environnemental est évaluée en fonction de la taxe environnementale ainsi que de l'émission totale de CO2 pour un mode de transport donné. Dans cette étude, nous considérons que ces indicateurs de coût ont la même proportion du coût total dans le processus de mise en œuvre. Le tableau 14 illustre ces éléments de coût :

Tableau 14. *Répartition des coûts*

Coût total	Coût de livraison	Coût de transport
		Coût de stockage
	Coût environnemental	Coût lié au CO2
		Taxe environnementale

Étant donné que deux indicateurs de performance de la Chaîne Logistique sont utilisés dans l'approche de modélisation, une optimisation multi-objectifs est mise en œuvre pour construire ce modèle car il existe un petit nombre d'approches combinant les problèmes financiers et environnementaux dans des cadres multi-objectifs pour résoudre le problème de conception de la Chaîne Logistique.

Le flux de travail de ce sous modèle commence par la fonction objective et la formulation des contraintes, puis il récupère les données d'entrée de la base de données. Le résultat de ce modèle permettra à une entreprise de déterminer les quantités optimales de livraison aux clients. La figure 27 ci-dessous illustre le flux de travail du sous modèle proposé :

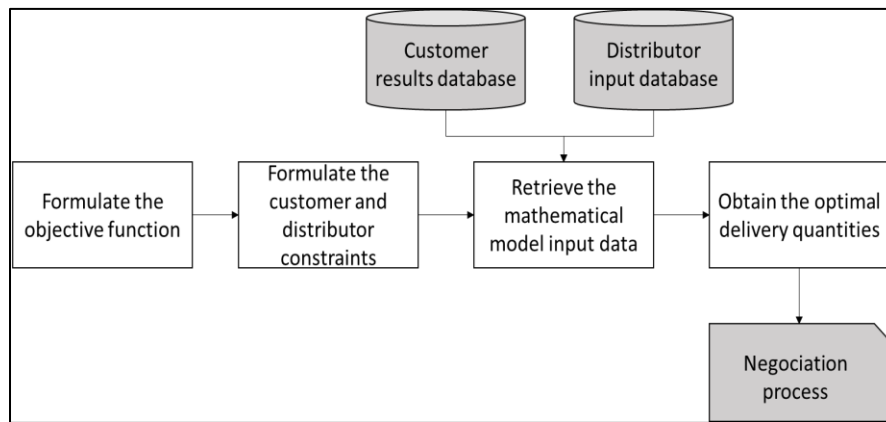


Figure 27. Flux de travail du sous modèle proposé

La description du modèle proposé est expliquée en deux sous-sections, à savoir la définition du problème et la formulation du modèle.

3.2.1 Définition du problème

Les hypothèses énoncées pour établir ce sous modèle sont les suivants :

- La demande de tous les clients est connue et déterministe.
- Chaque demande du client est toujours satisfaite par n'importe quel entrepôt du fabricant.
- Les produits sont exempts de défauts.
- La distance entre les nœuds du réseau est supposée être donnée par le chemin rectiligne entre les installations.
- Les frais de transport unitaires sont prédéfinis.

3.2.2 Formulation du modèle

La formulation du modèle proposé est divisée en trois parties les variables, la fonction objective et les contraintes. Le modèle a deux objectifs principaux, le premier est de minimiser le coût de

livraison qui est la somme des frais de transport et de stockage, et le second est de minimiser le coût environnemental mesuré sur la base de la taxe environnementale et des émissions de CO₂ liées à ce processus de livraison. Dans ce modèle, il est considéré que l'émission totale de CO₂ est due au transport. La formulation mathématique de la fonction objective est décrite dans l'équation 1.

- Variables :

Q_{ijml} : Quantité à livrer du fabricant i au distributeur j du produit m en utilisant le mode de transport l

Q_{jkml} : Quantité à livrer du distributeur j au client k du produit m en utilisant le mode de transport l

- Les autres éléments

I : fabricants

J : Distributeurs

K : clients

L : modes de transport

M : produits

De_{ijlm} : distance entre le fabricant I et le distributeur j en utilisant le mode de transport L

De_{jklm} : distance entre le distributeur J et le client K utilisant le mode de transport L

TC_{ijml} : Coût de transport du produit m du fabricant I au distributeur j en utilisant le mode de transport l

TC_{jkml} : Coût de transport du produit m du distributeur j au client k en utilisant le mode de transport l

SC_{im} : Coût de stockage du produit m dans l'entrepôt du fabricant I

SC_{jm} : Coût de stockage du produit m dans l'entrepôt du distributeur J

d_{km} : demande client du produit m

CA_{im} : Capacité de l'entrepôt du fabricant I du produit m

CA_{jm} : Capacité de l'entrepôt du distributeur J de produit m

C_{ijml} : Capacité du mode de transport l pour le produit m du fabricant I au distributeur j

C_{jkml} : Capacité du mode de transport l pour le produit m du distributeur j au client k

X_{ijl} : Taxe environnementale du transport du fabricant i au distributeur j utilisant le mode de transport l (Tons/Ton.Km)

X_{jkl} : Taxe environnementale du transport du distributeur j au client k utilisant le mode de transport l (Tons/Ton.Km)

Y_l : Émissions de CO₂ pour le mode de transport l (Eur/Ton)

$$\begin{aligned}
 \text{Min} \sum_i \sum_j \sum_l \sum_m (de_{ijlm} . TC_{ijlm} + SC_{im}) . Q_{ijml} \\
 + \sum_j \sum_k \sum_l \sum_m (de_{jklm} . TC_{jklm} + SC_{jm}) Q_{jklm} \\
 + \sum_i \sum_j \sum_l \sum_m (X_{ijl} . de_{ijlm} . Y_l) . Q_{ijlm} \\
 + \sum_j \sum_k \sum_l \sum_m (X_{jkl} . de_{jklm} . Y_l) . Q_{jklm} \quad (1)
 \end{aligned}$$

Sous contraintes :

La demande totale du client k doit être égale ou inférieure à la quantité livrée par le distributeur j utilisant le mode de transport l pour le produit m .

$$\sum_j Q_{jklm} = d_{km} \quad \forall k \in K \quad \forall m \in M \quad (2)$$

Quantité totale livrée par le fabricant I doit être égale ou supérieure à la quantité livrée par le distributeur j au client k en utilisant le mode de transport l pour le produit m

$$\sum_i Q_{ijlm} \leq Q_{jklm} \quad \forall k \in K \quad \forall m \in M \quad \forall j \in J \quad \forall l \in L \quad (3)$$

La quantité totale livrée par le fabricant I au distributeur j doit être égale ou inférieure à la capacité du mode de transport l pour le produit m

$$\sum_i Q_{ijlm} \leq C_{ijml} \quad \forall m \in M \quad \forall j \in J \quad \forall l \in L \quad (4)$$

La quantité totale livrée par le distributeur j au client k doit être égale ou inférieure à la capacité du mode de transport l pour le produit m

$$\sum_j Q_{jklm} \leq C_{jklm} \quad \forall m \in M \quad \forall k \in K \quad \forall l \in L \quad (5)$$

La quantité totale livrée par le fabricant I au distributeur j doit être égale ou inférieure à la capacité de l'entrepôt pour le produit m

$$\sum_i Q_{ijml} \leq CA_{ijml} \quad \forall m \in M \quad \forall j \in J \quad \forall l \in L \quad (6)$$

La quantité totale livrée par le distributeur j au client k doit être égale ou inférieure à la capacité de l'entrepôt pour le produit m

$$\sum_j Q_{jkml} \leq CA_{jkml} \quad \forall m \in M \quad \forall k \in K \quad \forall l \in L \quad (7)$$

Les tableaux en dessous présentent les données réelles considérées dans le cadre de cette étude de cas.

Tableau 15. Coûts de transport unitaires

	Distributeur 1	Distributeur 2	Client 1	Client 2	Client 3	Client 4
Fabricant	0,3	0,4	0	0	0	0
Distributeur 1	0	0	0,8	0,7	0,8	0,9
Distributeur 2	0	0	0,6	0,3	0,2	0,1

Tableau 16. Distances

	Distributeur 1	Distributeur 2	Client 1	Client 2	Client 3	Client 4
Fabricant	1200	1600	0	0	0	0
Distributeur 1	0	0	500	800	1900	1300
Distributeur 2	0	0	1200	900	1400	1500

Tableau 17. Coût environnemental unitaire

	Distributeur 1	Distributeur 2	Client 1	Client 2	Client 3	Client 4
Fabricant	0,5	0,4	0	0	0	0
Distributeur 1	0	0	0,3	0,6	0,5	0,6
Distributeur 2	0	0	0,2	0,4	0,3	0,1

Tableau 18. Coût de stockage unitaire

	Distributeur 1	Distributeur 2	Client 1	Client 2	Client 3	Client 4
Fabricant	0,02	0,01	0	0	0	0
Distributeur 1	0	0	0,04	0,05	0,02	0,079
Distributeur 2	0	0	0,03	0,055	0,06	0,04

Le tableau 19 illustre le résultat du sous-modèle de livraison pour un distributeur et un client où Q11 fait référence à la quantité à livrer du distributeur 1 au client 1 avec le coût total associé, qui est nommé le coût Begin_TCDA pour le processus de négociation.

Tableau 19. *Résultat du sous modèle mathématique*

Mois	Demande client	Coût de livraison	Coût environnemental	Coût total	Quantité à livrer du distributeur 1 au client 1 (Q11)
1	300	16599	4413	21012	300
2	350	19366	5148	24514	350
3	400	22133	5883	28016	400
4	300	16599	4413	21012	300
5	398	22021	5854	27875	398
6	469	25951	6898	32849	469
7	207	11453	3045	14498	207
8	350	19366	5148	24514	350
9	400	22133	5883	28016	400
10	250	13833	3677	17510	250
11	327	18093	4810	22903	327
12	520	28773	7648	36421	520

3.3 Processus de négociation

Dans cette section, Trois scénarios de négociation sont considérés.

3.3.1 Scénario 1 : négociation basique

Le premier scénario représente une négociation basique entre un agent client CA et un agent distributeur DA. En effet, l'agent client cherche à optimiser un coût Max_TCCA qui représente le coût maximal que le client peut payer par livraison. De la même manière, l'agent distributeur DA cherche aussi à optimiser un coût Min_TCDA qui représente le coût minimal qu'il doit payer à son prestataire logistique pour chaque livraison.

Pour ce cas d'étude, il est confirmé que ces deux éléments de coût changent une fois par an. Le tableau 20 illustre les différentes valeurs :

Tableau 20. *Les coûts de négociation*

Mois	Min_TCDA	Max_TCCA
Janvier- Juin	20000	25000
Juillet-Décembre	22000	28000

Ces valeurs sont aussi valables pour le reste des scénarios. Le résultat de ce premier scénario représente un coût total qui est égale à :

$$\frac{(Max_TCCA - Min_TCDA)}{2} \quad (1)$$

La figure 28 illustre les valeurs du coût total négocié.

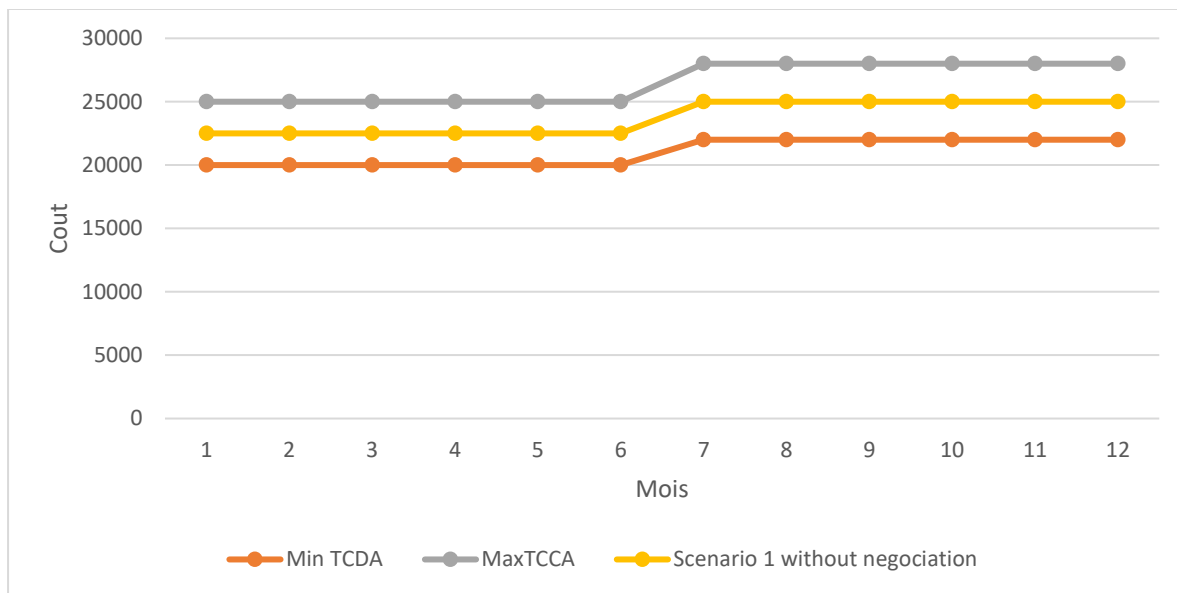


Figure 28. Coût total du scénario 1

Pour le premier scénario, il n'existe pas une prise en considération ou une visibilité sur les considérations environnementales. Il s'agit d'une négociation basique et simple entre les deux agents DA et CA pour essayer de réduire les valeurs du Max_TCCA et Min_TCDA. Le résultat de ce scénario est utilisé comme base de comparaison avec les autres scénarios dans les parties suivantes.

3.3.2 Scénario 2 : Négociation environnementale

Dans ce scénario, le distributeur et les agents clients doivent négocier le coût total fourni par le sous-modèle de livraison Begin_TCDA et parvenir à un accord. L'agent distributeur a pour objectif de minimiser le coût total, y compris les coûts environnementaux et financiers. Il a également un coût total minimum Min_TCDA qui doit être optimisé. Sa connaissance dynamique consiste en

négociation des coûts totaux avec l'agent client. Celui-ci a une demande D qui doit être satisfaite par l'agent distributeur. Il a également pour objectif de minimiser le coût total par livraison Max_TCCA. La figure 29 décrit le processus de négociation entre le distributeur et les agents clients à l'aide de messages échangés (messages FIPA ACL).

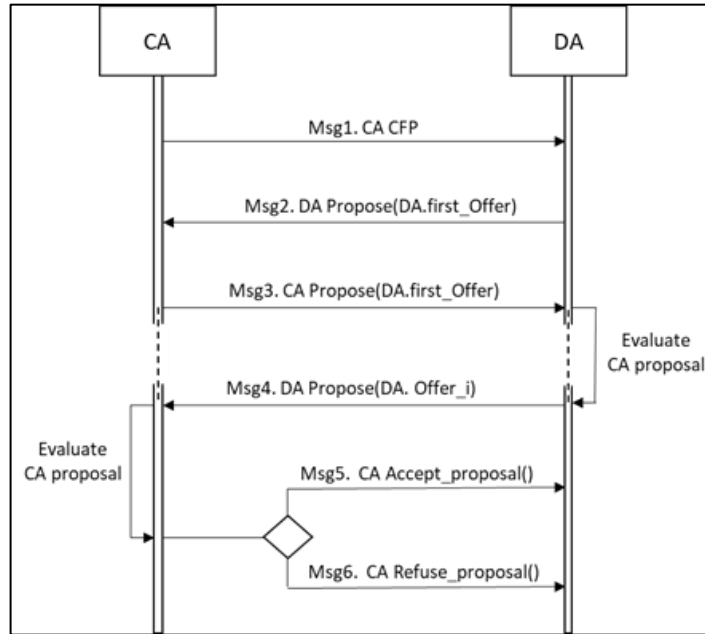


Figure 29. Protocole de négociation du scénario 2

Les paramètres utilisés dans ce processus de négociation peuvent être initiés différemment selon le cas de figure. Dans ce modèle, Begin_TCDA représente le coût de sortie du modèle de sous-livraison, y compris les coûts de stockage, de transport et d'environnement pour une quantité livrée. En plus des variables mentionnées ci-dessus, la fonction suivante est utilisée pour envoyer un message d'un agent source à un agent de destination : (Msg, Source, Destination).

3.3.2.1 L'algorithme de négociation.

Algorithme de négociation du scénario 2

Msg1: CA. CFP

Msg2: DA.Propose (DA.first_offer)

1. If (Begin_TCDA <= Min_TCDA)
 2. Then DA_offer (0) = Begin_TCDA
 3. Else DA_offer (0) = Min_TCDA
 4. EndIf
-

5. Send (DA_offer(0) , DA , CA)

Msg3: CA.Propose (CA.first_offer)

1. CA.offer(0) = Max_TCCA

2. Send (CA_offer(0) , CA , DA)

Msg4 : DA.Propose (DA.offer)

1. If ((CA.offer(k) <= Begin_TCDA) OR (Min_TCDA <= CA.offer(k)))

2. Then DA_offer(k)=CA_offer(k)

3. Send (DA_offer(k), DA, CA)

4. Else R = DA_Offer(k-1) – CA_offer(k)

5. If ((DA_Offer(k) - R) <= Min_TCDA

6. Then DA.Offer(k) = DA.Offer(k-1) – R

7. Else DA.Offer(k) = DA.Offer(k-1)

8. End If

9. Send (DA_offer(k), DA, CA)

10. End If

Msg5 : CA.Accept_proposal ()

1. If DA.Offer(k) ≤ (CA_Offer (k-1))

2. Then Send (Accept_proposal , DA , CA)

3. Endf

Msg6: CA.Refuse_proposal (CA.offer)

1. If (DA.Offer(k) = DA.Offer (k-1))

2. Then Send (Refuse_proposal , DA , CA)

3. EndIf

3.3.2.2 Description de l'algorithme du scénario 2

Le processus de négociation est lancé par CA. Il envoie un message d'appel à proposition (Msg1.CA.CFP) à DA. Par conséquent, DA génère sa première offre (Msg2) avec un coût égal soit à Begin_TCDA ou bien Min_TCDA.

Une fois le Msg2 est reçu, l'agent client CA génère sa première offre Msg3 avec un coût cible égal à Max_TCCA. DA commence à évaluer la première offre reçue de CA. La première étape consiste à vérifier si CA_offer (k) ne dépasse pas le Begin_TCDA pour s'assurer que la sortie du sous-modèle de livraison est prise en compte. D'autre part, CA_offer (k) doit être supérieur à

Min_TCDA. Si ces conditions sont remplies, alors la nouvelle DA_offer (k) sera égale au CA_offer (k) proposé, sinon DA applique une nouvelle fonction de réduction R qui est une différence entre sa dernière offre faite et la nouvelle CA_offer (k). Si la nouvelle offre DA (k) comprenant la valeur R est toujours supérieure à Min_TCDA, alors la valeur R est déduite de la dernière offre DA_offer (k-1), sinon DA_offer (k) sera la même que la précédente DA_offer (k-1). Le résultat est envoyé pour évaluation (Msg4). CA évalue le DA_offer (k) en le comparant à la dernière offre faite. Si le DA_offer (k) est inférieur à CA_offer (k-1), CA envoie un message accept_proposal (Msg5) à DA. Sinon, si l'offre reçue DA_offer (k) est similaire à la précédente, alors CA envoie un message refuse_proposal (Msg6).

3.3.2.3 Simulation de l'algorithme du scénario 2

Le processus de négociation est développé et simulé à l'aide de la plateforme JADE. Il s'agit d'un cadre de développement logiciel visant à développer des systèmes et des applications multi-agents conformes aux normes FIPA pour les agents intelligents. Il comprend deux produits principaux : une plate-forme d'agents conforme à la norme FIPA et un package pour développer des agents Java. JADE a été entièrement codé en Java et un programmeur d'agents.

Les premiers documents de sortie de FIPA, nommés spécifications FIPA97, énoncent les règles normatives qui permettent à une société d'agents d'exister, de fonctionner et d'être gérée. Tout d'abord, ils décrivent le modèle de référence d'une plate-forme d'agents, comme le montre la figure 30. Ils identifient les rôles de certains agents clés nécessaires à la gestion de la plate-forme et décrivent le langage et l'ontologie du contenu de gestion des agents.

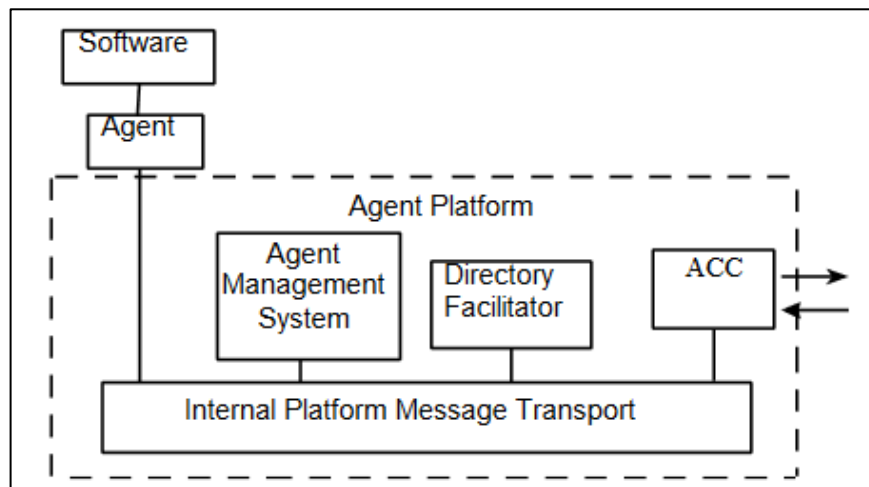


Figure 30. *Modèle de référence de FIPA (FIPA, 1997)*

Trois rôles obligatoires ont été identifiés pour une plateforme d'agents. Le système de gestion des agents (AMS) est l'agent qui exerce un contrôle de supervision sur l'accès et l'utilisation de la plateforme, elle est chargée de la tenue d'un répertoire des agents résidents et de la gestion de leur cycle de vie. L'Agent Communication Channel (ACC) fournit le chemin pour le contact de base entre les agents à l'intérieur et à l'extérieur de la plate-forme. L'ACC est la méthode de communication par défaut qui offre un service de routage de messages fiable, ordonné et précis. FIPA97 exige la prise en charge de l'ACC afin d'interagir avec d'autres plates-formes d'agents conformes. Le facilitateur d'annuaire (DF) est l'agent qui transmet les services de page jaune à la plate-forme d'agent.

La figure 31 illustre les différents messages FIPA ACL entre les deux agents sur la plateforme JADE. Le modèle mis en œuvre diffère du protocole de réseau contractuel itéré car un appel à propositions n'est envoyé qu'au début et il n'y a pas de limitation de temps de réponse à chaque itération.

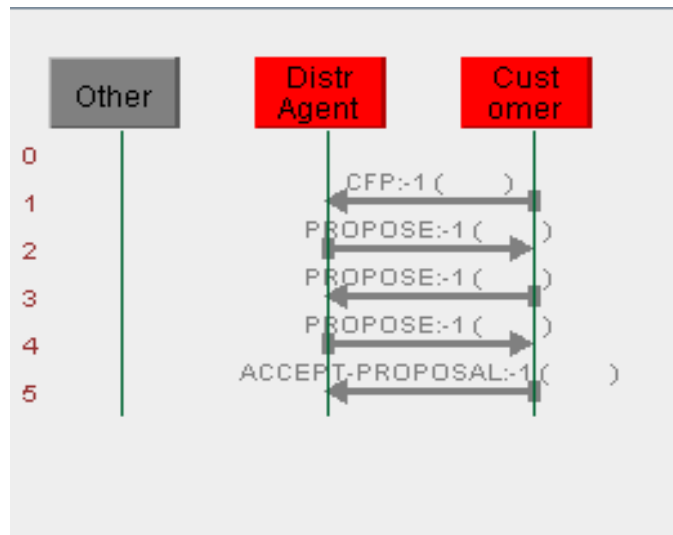


Figure 31. Simulation des agents sur JADE pour le scénario 2

Les expérimentations réalisées permettent de vérifier si le modèle proposé peut conduire les agents à s'entendre sur les coûts totaux de livraison. La figure 32 illustre les différents éléments de coûts définis ainsi que le résultat du processus de négociation

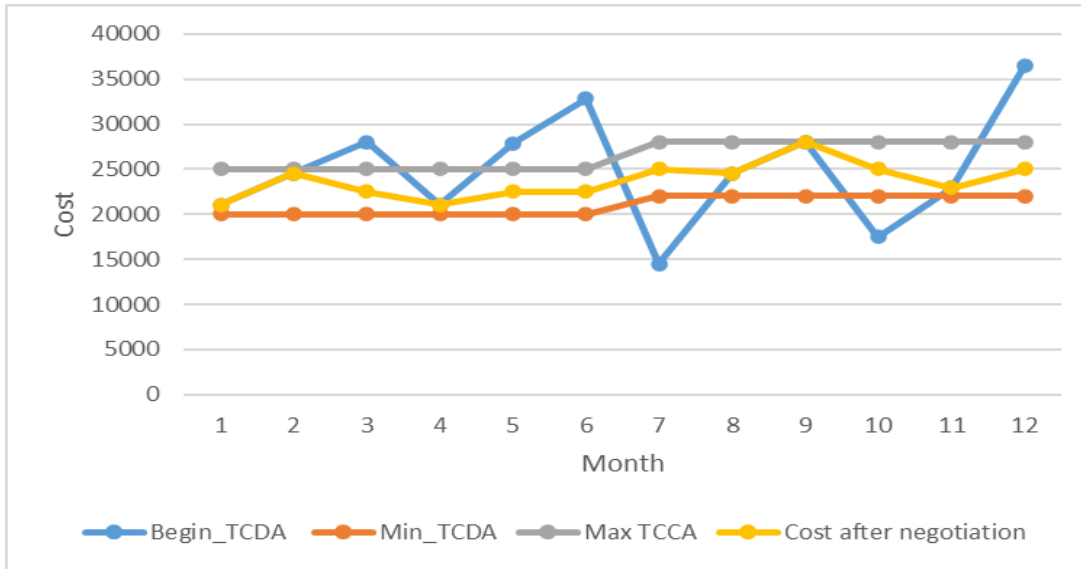


Figure 32. Coût total du scénario 2

La sortie du sous-modèle de livraison, à savoir *Begin_TCDA*, était dans la plage de négociation entre *Min_TCDA* et *Max_TCCA* et a été considérée comme un résultat final pendant 6 mois, ce qui garantit que les contraintes environnementales sont prises en compte. Pour les mois 3 et 5, le *Begin_TCDA* était très proche du *Max_TCCA*, et donc à considérer dans la fourchette de négociation. Dans ce cas, une nouvelle négociation sur la quantité à livrer (*Q11*) peut aider à réduire le *Begin_TCDA* et à le prendre comme résultat final. Pour les mois 6 et 12, le *Begin_TCDA* est très élevé par rapport à la plage de négociation. Le coût pour ces mois se réfère au plus gros volume *Q11* demandé par le client. Un protocole de négociation d'efficacité de quantité peut également être mis en œuvre pour réduire le *Begin_TCDA*. Pour les mois 7 et 10, le *Begin_TCDA* est inférieur à la plage de négociation en raison du faible volume de ces mois respectifs. Une augmentation de quantité est nécessaire pour augmenter le *Begin_TCDA* et aussi pour compenser la diminution de quantité pour les autres mois.

3.3.3 Scénario 3 : négociation environnementale et ajustement de la quantité

En plus de la négociation environnementale, un ajustement de la quantité est pris en considération pour le troisième scénario. Les mêmes éléments du coût sont utilisés à savoir le *Begin_TCDA*, le *Max_TCCA* et le *Min_TCDA* avec une quantité initiale *Q* qui représente la demande du client. En plus, un nouvel élément de coût est considéré *Begin_TCDA'* relatif à la quantité ajustée *Q'*. La figure 33 illustre ce protocole de négociation.

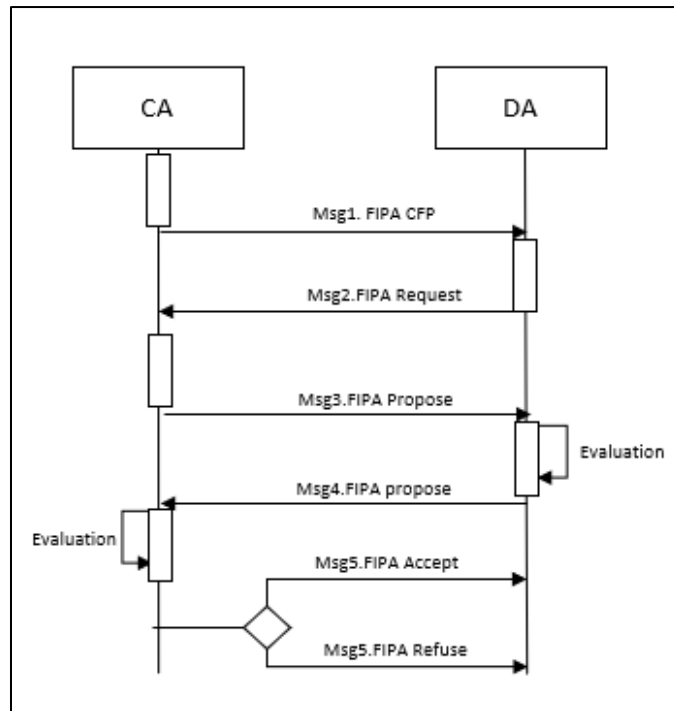


Figure 33. *Protocole de négociation du scénario 3*

3.3.3.1 Algorithme de négociation du scénario3

Algorithme de négociation du scénario 3

Msg1: CA. CFP

Msg2: DA FIPA Request

1. Receive Msg1
2. DA Request (D, MOQCA, Max TCCA)
3. Send (DA Request, DA, CA)

Msg3: CA FIPA Propose

1. Receive Msg2
2. CA Propose (D, MOQCA, Max TCCA)
3. Send (CA Propose, CA, DA)

Msg4 : FIPA Propose

1. Receive Msg3
2. If ($MOQDA < Q < MOQCA$)
3. Then DA offer = Min (Begin TCDA, Min TCDA)
4. Else $Q' = Q + a$

5. $Begin\ TCDA' = (Begin\ TCDA/Q) \times Q'$
6. $DA\ offer = \min(Begin\ TCDA', Min\ TCDA)$
7. Send (DA Propose, DA, CA)

Msg5 : FIPA Propose

1. Receive Msg4
2. If ((DA offer (Q) < MOQCA) AND (DA offer(C) < Max TCCA)
3. Send (CA Accept Proposal, CA, DA)
4. Else Send (CA Refuse Proposal, CA, DA)

Msg6: CA.Refuse_proposal (CA.offer)

4. If (DA.Offer(k) = DA.Offer (k-1))
5. Then Send (Refuse_proposal , DA , CA)
6. EndIf

3.3.3.2 Description de l'algorithme de négociation du scénario3

L'agent client envoie une demande de proposition Msg1 à l'agent distributeur DA.

Une fois le Msg1 est reçu, L'agent DA envoie une demande d'information en Msg2. L'objectif est d'avoir la demande client D par mois, la quantité maximale par livraison que le client peut réceptionner MOQCA et le coût maximal par livraison que le client peut payer Max_TCCA. Une fois le Msg2 est reçu par l'agent client CA, il prépare les éléments demandés par l'agent distributeur DA et les envoie en Msg 3. Après avoir reçu le Msg3, l'agent distributeur DA procède à une analyse des données fournies. En effet, il vérifie si la quantité proposée pour livraison est comprise entre MOQCA et MOQDA. Si cette condition est valide, il assigne le minimum du coût donné par l'optimisation mathématique incluant le coût environnemental Begin_TCDA et le coût réel qui doit payer à son prestataire logistique Min_TCDA. Si la condition de quantité n'est pas vérifiée, il procède à un ajustement de quantité et une redistribution sur les autres mois en utilisant la formule suivante :

$$Q' = Q + a \quad (2)$$

Avec

$$a = \frac{X \cdot \sum(MOQDA - Q) + Y \cdot \sum(MOQCA - Q)}{Z} \quad (3)$$

$$X = \begin{cases} 0, & \text{Si } Q > MOQDA \\ 1, & \text{Sinon} \end{cases} \quad (4)$$

$$Y = \begin{cases} 0, & \text{Si } Q < MOQCA \\ 1, & \text{Sinon} \end{cases} \quad (5)$$

Q' : la quantité ajustée

Q : la quantité initiale

a : paramètre d'ajustement

Z : nombre de mois restants ou la quantité est comprise entre MOQDA et MOQCA.

Une fois la nouvelle quantité Q' est calculée, l'agent distributeur DA assigne le minimum des coûts relatifs à cette quantité Q', données par l'optimisation mathématique Begin TCDA et le coût réel qui doit être payé au prestataire logistique Min TCDA. Ensuite, il envoie le résultat de l'analyse à l'agent client CA (Msg4). L'agent client CA compare entre le Max TCCA et le coût offert par DA en Msg4 (Begin TCDA ou Begin TCDA'). Si le coût proposé est inférieur à Max TCCA et la quantité à livrer (Q ou Q') est inférieure ou égale à MOQCA, l'agent client envoie un message d'acceptation à DA. Si cette condition n'est pas vérifiée, CA envoie un message de refus à DA.

3.3.3.3 Simulation de l'algorithme du scénario 3

De la même manière, le troisième scénario est aussi simulé à l'aide de la plateforme JADE. La figure 34 illustre cette simulation.

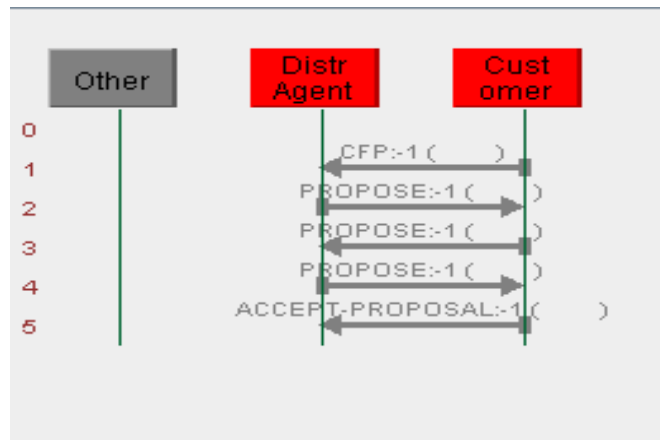


Figure 34. Simulation des agents sur JADE pour le scénario 3

Les résultats du troisième scénario sont donnés par la figure 35

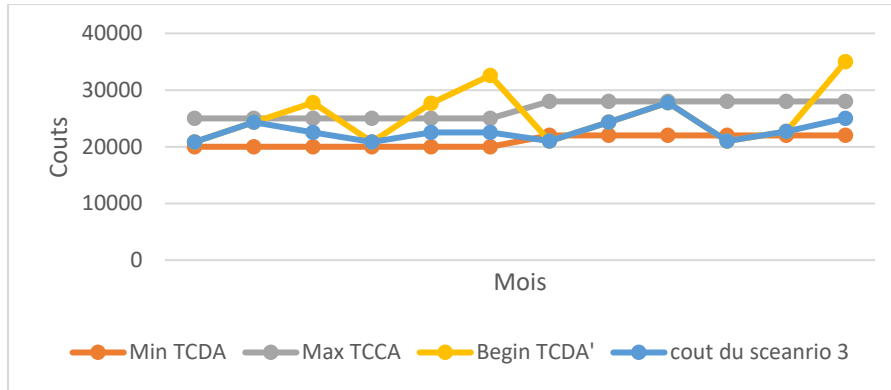


Figure 35. Coût total du scénario 3

D'après le graphe en dessus, le Begin TCDA' qui correspond au nouveau coût du sous modèle après avoir fait l'ajustement de quantité, a été considéré comme étant le coût final de 8 mois sur 12, ce qui garantit la prise en considération des contraintes environnementales. Pour les autres mois, le résultat du sous modèle était largement supérieur à la plage de négociation, par conséquent les agents considèrent les résultats des autres scénarios comme étant le coût final de négociation.

III.3.9 Comparaison entre les trois scénarios :

Une comparaison du coût total entre les trois scénarios est nécessaire pour voir l'impact des décisions durables. Le tableau 21 illustre cette comparaison.

Tableau 21. Comparaison entre les 3 scénarios

Mois	Min TCDA	Max TCCA	Demande Client	Scénario 1		Scénario 2		Scénario 3	
				Coût	Quantité	Coût	Quantité	Coût	Quantité
1	20000	25000	300	22500	300	21012	300	20841	286
2	20000	25000	350	22500	350	24514	350	24315	336
3	20000	25000	400	22500	400	22500	400	22500	386
4	20000	25000	300	22500	300	21012	300	20841	286
5	20000	25000	398	22500	398	22500	398	22500	384
6	20000	25000	469	22500	469	22500	469	22500	455
7	22000	28000	207	25000	207	25000	207	21012	300
8	22000	28000	350	25000	350	24514	350	24315	336
9	22000	28000	400	25000	400	28016	400	27788	386
10	22000	28000	250	25000	250	25000	250	21012	300
11	22000	28000	327	25000	327	22903	327	22717	313
12	22000	28000	520	25000	520	25000	520	25000	500
Total			4271	285000	4271	284471	4271	275341	4271

En passant de scénario 1 au scénario 2, le coût total de livraison a baissé légèrement avec une réduction qui ne dépasse pas 0,1%. La quantité à livrer est restée la même mais le coût du sous modèle mathématique a été considéré comme résultat final pour 6 mois, ceci confirme que la prise en considération des contraintes environnementales n'avait pas un impact négatif sur le coût total. En passant du scénario 2 au scénario 3, une réduction plus significative est enregistrée pour le coût total qui est l'équivalent à 3%. En plus, le coût du sous modèle a été considéré comme résultat final pour 8 mois. La quantité est ajustée mais le total des quantités est toujours égal à la demande client et respecte les contraintes de quantité maximale MOQCA et la quantité minimale MOQDA.

Cette analyse montre que les agents considérés ont réussi à arriver à un accord de coût total inférieur au cas où aucune pratique environnementale n'était considérée. La mise en place du protocole de négociation supplémentaire pour l'efficacité quantitative a permis aussi de diminuer encore le coût total et donc de rendre le modèle proposé plus avantageux pour les partenaires de la Chaîne Logistique.

Conclusion

Ce chapitre illustre un cas d'étude du SMA dans une Chaîne Logistique aval. En effet, la description des rôles des agents ainsi que leurs interactions est donnée en premier lieu, ensuite trois scénarios de simulation sont considérés. Ces derniers sont testés et validés en utilisant le langage de programmation Java et la plateforme de simulation JADE pour un processus de négociation dyadique entre les deux agents client et distributeur. Les résultats de ce modèle montrent que la prise en compte des contraintes environnementales n'a pas un impact négatif sur la performance financière et environnementale. Le rajout des autres agents de la Chaîne Logistique aval considérée est important afin de voir l'impact sur la performance globale. De ce fait, L'objectif du chapitre suivant est de rendre ce modèle plus générique à travers l'étude de son ouverture.

Chapitre IV : Ouverture et l'adaptabilité des SMA. Application au cas d'étude considéré

Introduction : L'ouverture des SMA est définie dans la littérature comme la capacité du système à gérer les entités quittant et rejoignant une société d'agents au cours du temps. Dans ce chapitre, une revue de littérature sur l'ouverture des SMA ainsi que ses différents aspects sont présentées et appliquées sur le cas d'étude du chapitre précédent. Un aperçu des modèles existants est donné tout en proposant une classification à trois catégories : modèles structurels, modèles fonctionnels et modèles interactionnels.

1 Ouverture des SMA

Le concept d'ouverture dans un SMA est une propriété stimulante qui suscitent la curiosité de nombreux chercheurs. Il a été défini à plusieurs points de la littérature. En fait, l'ouverture est principalement définie d'un point de vue de la direction. Par exemple, Sehory (2001) indique que l'ouverture d'un SMA est définie comme sa capacité à introduire de nouveaux agents en plus des éléments existants. En outre, Calmat et al. (2003) indiquent qu'une société ouverte d'agents est faite pour permettre des extensions. En d'autres termes, il s'agit d'une société ouverte à de nouveaux agents sans objectifs définis ou non pertinents. À Valckenaers et al. (2007), l'ouverture dans le SMA est considérée comme la capacité des systèmes à traiter avec des entités non seulement entrant mais laissant également le système. En prenant en compte un point de vue fonctionnel, SMA ouvert est défini comme des systèmes traitant de trois modifications possibles : addition, retrait et évolution des entités (Boissier et al., 2004). L'évolution est en effet considérée comme le gain de nouvelles capacités et des attributs internes ou la perte d'anciens. De même, Jumadinova et al. (2014) distinguent deux types d'ouverture : ouverture de l'agent et ouverture de la tâche. Le premier dépend de la disponibilité des agents nécessaires pour effectuer des tâches dans le système et le second se réfère aux changements dynamiques des tâches qui apparaissent avec le temps. Dans le même contexte, Weyns et al. (2010) définit l'ouverture des SMA comme la capacité du système à s'adapter à une incertitude dans l'environnement et à gérer des perturbations dynamiques telles que la venue des nouvelles tâches et des ressources. Un autre point de vue est pris en compte : l'interopérabilité entre les agents. En fait, comme indiqué à Petsch (2002), les SMA ouverts combinent des aspects sociologiques et logiciels. Ainsi, ils sont considérés comme des systèmes développés à l'étude des normes d'interopérabilité et en ce qui concerne les aspects sociaux. Cette définition est adoptée et développée à Weyns et al. (2015). Dans ce dernier travail, des SMA ouverts sont considérés comme des systèmes où les agents interagissent ensemble afin d'atteindre leur objectif. À cette fin, ils demandent des ontologies communes, des protocoles de communication et des infrastructures de coordination appropriées.

Le tableau 22 résume les trois aspects majeurs liés aux définitions de l'ouverture des SMA données en dessus.

Tableau 22. *Aspects de l'ouverture des SMA*

Aspects de l'ouverture SMA	Description
Aspect structurel	Un tel aspect considère les agents comme des entités physiques et prend en compte uniquement des changements imprévisibles dans la topologie SMA.
Aspect fonctionnel	L'ouverture ici est basée sur l'évolution interne des agents et considère la modification de leur contenu, des objectifs, des attributs et des fonctionnalités.
Aspect interactionnel	Cet aspect prend en compte les interactions ouvertes entre les agents et souligne les règles communes, les normes et les protocoles suivants.

D'après les définitions données en dessus, l'étude de l'ouverture des SMA est une tâche difficile à faire vu son incertitude et sa dynamicité au niveau de la structure et des fonctionnalités. Ainsi, il y a un besoin pressant pour une technique permettant de gérer efficacement la complexité et de faciliter la compréhension de son comportement général. La modélisation est en effet une méthode qui trouve une grande applicabilité dans plusieurs domaines et peut être utilisée pour gérer ce problème des SMA ouverts.

2 Modélisation de l'ouverture des SMA

La modélisation des SMA ouverts intéresse beaucoup de chercheurs de la communauté scientifique et plusieurs modèles sont proposés. Comme mentionné ci-dessus, ils peuvent être classés en trois catégories : modèles structurels, modèles fonctionnels et modèles interactionnels.

2.1 Modèles de structure

Les modèles structurels sont des méthodes et d'outils décrivant la manière dont la maîtrise est observée d'un point de vue externe, sans prendre en compte les propriétés internes du système et l'évolution des données. En fait, chaque modèle existant dans la littérature représente une ouverture soit explicitement par la procédure décrivant les principales opérations d'ouverture structurelle : addition, élimination et évolution des agents, ou implicitement en abordant certains aspects connexes tels que la variabilité structurelle. Dans la littérature, ces modèles sont classifiés en fonction de l'objectif pour lequel ils sont proposés.

2.1.1 Gestion de l'ouverture

Les approches existantes dans ce contexte sont dédiées à la gestion de l'addition, l'enlèvement et l'évolution des agents de SMA. Les modèles existants sont les suivants :

- Le modèle centralisé (Decker et al., 1997) : Il est basé sur un agent spécifique appelé courtier. Lorsqu'un agent est intégré dans le système, il doit fournir ses caractéristiques au courtier, qui se met à jour en fonction des capacités et des exigences du nouvel agent. Tout agent quittant le système n'a que de signaler son retrait au courtier.
- Le modèle distribué (Sehaba, 2002) : Dans ce modèle, les agents communiquent en diffusant des messages. L'ajout d'un nouvel agent nécessite de prévenir tous les agents existants de sa présence et de demander leurs connaissances. Lors de la modification d'un agent, ce dernier doit envoyer un message à tous les agents du système et à mettre à jour leurs représentations. De la même manière, la suppression d'un agent lui demande de signaler son départ à tous les éléments.
- Le modèle hybride (Sehaba, 2002) : le SMA est décomposé en groupes de connexions. Afin d'intégrer le système, un agent doit envoyer ses caractéristiques au courtier qui l'attribue au groupe approprié. Par conséquent, l'agent se présente aux éléments du groupe en question et reçoit leurs représentations. En ce qui concerne la suppression d'un agent, ce dernier vient de signaler son départ à ses connaissances. De même, un agent ayant évolué doit signaler la disparition de certaines de ses caractéristiques et doit introduire ses nouvelles fonctionnalités à ses connaissances.

2.1.2 Conception d'ouverture

La conception de SMA ouverts est un sujet d'une préoccupation majeure des chercheurs qui proposent des modèles architecturaux et des mécanismes appropriés pour soutenir l'ouverture structurelle SMA. Le modèle peer-to-peer constitue la base de plusieurs cadres logiciels principalement JADE ainsi que certains modèles de réorganisation.

- Modèle de Peer to Peer : Ce modèle convient à la conception des SMA ouverts grâce à sa capacité à atteindre des milliers ou même des millions de nœuds. L'ajout ou la suppression d'un agent de SMA provoque une modification de la structure de l'ensemble du système. L'utilisation de cette tendance implique de manipuler certains aspects d'ouverture tels que la détection d'intrusion et des exceptions, la gestion des flux de travail et les problèmes de sécurité (Bijani, 2012).

- **Modèle de réorganisation** : ils sont basés sur le OcSMA (SMA centré sur l'organisation) Massonet et al. (2002). Cette approche donne une grande attention à la structure du SMA. Il définit la relation logique entre agents et leurs organisations indépendamment du comportement et des activités des agents. Amaral et Hübner (2019) propose un modèle structurel afin de générer une conception automatisée des SMA ouverts. Il utilise comme entrée un arbre d'obtention, les compétences nécessaires pour atteindre l'objectif et la charge de travail prédite.

2.1.3 Évaluation de l'ouverture

Le sujet de l'évaluation de la performance dans SMA est analysé à travers l'ouverture structurelle (Hattab et al., 2017) et la contrôlabilité structurelle (Zegzhda et al., 2017).

- **Évaluation de l'ouverture structurelle** : des graphiques évolutifs sont sélectionnés pour évaluer l'ouverture structurelle dans SMA grâce à leur capacité à autoriser toute combinaison d'addition et de suppression des entités (Hatthab et al., 2017). En appliquant un certain nombre de propriétés de la théorie des graphes, certaines mesures sont définies afin d'évaluer les changements structurels au niveau de la topologie SMA.
- **Évaluation de la contrôlabilité structurelle** : des graphiques dynamiques sont utilisées afin de vérifier la contrôlabilité structurelle des SMA. Par exemple, Angluin et al. (2008), indique qu'un SMA est structurellement contrôlable si et uniquement si le graphe Union est connecté. Selon Zegzhda et al. (2017), l'objectif est de calculer les frontières de la contrôlabilité. Pour cette fin, un graphique régulier sous la forme d'arbre avec des nœuds virtuels est proposé et certaines méthodes de calcul du nombre de sommets sont appliquées.

2.2 Modèles fonctionnels

Les modèles fonctionnels sont un ensemble de méthodes, d'outils et d'approches décrivant la maîtrise d'un point de vue interne. Ces modèles visent à montrer le comportement interne des agents et la manière dont il change au fil du temps en raison de l'addition imprévisible, de l'élimination et de l'évolution de certaines propriétés telles que les connaissances, les rôles et les objectifs de l'agent. Ils insistent sur l'évolutivité interne dans SMA ouverts et mettent en évidence le comportement autonome et adaptatif résultant de ces systèmes. De même pour les modèles structurels, des modèles fonctionnels sont proposés afin d'atteindre certains objectifs spécifiques, à savoir : la conception des SMA ouverts, l'analyse des propriétés internes ouvertes, la prise de décision ainsi que la détection des anomalies et la vérification de certaines caractéristiques.

2.2.1 La conception de SMA ouvert

Les modèles qui permettent de concevoir les SMA ouverts d'un point de vue fonctionnel, sont les modèles basés sur le rôle, les modèles axés sur les services et les modèles normatifs.

- Le modèle basé sur le rôle (Xu et al., 2007) : il consiste en trois couches, nommément société d'agent, espace de rôle et organisation de rôle. Dans ce modèle, l'ouverture apparaît à trois niveaux et il est défini sous forme d'ajouts dynamiques et de déménagements des rôles d'agent pendant l'exécution.
- Le modèle axé sur le service : Il est spécifiquement adressé à la conception d'organisations ouvertes et proposé afin de permettre aux agents de gérer le problème de la découverte et de la composition dans des environnements ouverts dynamiques et en évolution. Il comprend deux catégories de services : services de gestion de l'ouverture et services structurels. Spanoudakis et al. (2019) propose un travail dans ce contexte qui consiste à proposer une architecture de services ouverts pour adresser un problème de transfert d'énergie.
- Modèles normatifs et institutions électroniques : la nature changeante de SMA ouverts, ainsi que la forte collaboration et la coordination dans ces systèmes, nécessite une architecture appropriée non seulement pour faire face aux ajouts, à la suppression et à l'évolution des agents, mais également à renforcer la performance et faciliter les interactions entre eux. Ces dernières années, la modélisation normative apparaît comme une méthode importante pour atteindre ces objectifs. Les normes, considérées comme un ensemble de conventions définies à articuler ou à restreindre les interactions (Viana et al., 2018), ou des règles adoptées par un groupe d'agents afin de produire un comportement souhaité (Mahmoud et al., 2014), sont aujourd'hui un formalisme puissant dans la conception des SMA ouverts. Luck et al. (2003) souligne que l'importance d'un tel modèle est mise en évidence car les sociétés humaines giclent avec succès des problèmes similaires en créant des institutions qui établissent des normes pour la dynamique du groupe dans des systèmes ouverts.

2.2.2 Analyse des propriétés internes ouvertes SMA

L'analyse des propriétés internes des SMA ouverts se traduit par la mesure de la stabilité du fonctionnement et la contrôlabilité. La théorie des graphes est utilisée comme outil permettant d'atteindre cet objectif. En effet, Rahmani et al. (2009) utilise cette théorie pour étudier le problème de l'accord du SMA. De plus, Robin Milner met en évidence l'importance des réseaux d'agents de

modélisation afin de comprendre et d'optimiser leur comportement. Il propose une théorie structurelle unifiée basée sur les BigRaphs pour représenter le SMA (Milner, 2009).

Le concept de Web sémantique ouvre une nouvelle vision pour une nouvelle génération de systèmes autonomes sur le Web (Clortea et al., 2019). Dans ce contexte, un grand nombre de modèles ont été proposés dans la littérature afin d'analyser et d'interpréter le comportement des agents. Par exemple, des graphiques de connaissances ont été utilisés à cette fin. Ils sont définis à en tant qu'ensemble de données structurelles interconnectées pour décrire des éléments objectifs tels que des concepts, des entités et des attributs (Chen, 2019). Il est utilisé dans des systèmes de recherche intelligents pour analyser les besoins des utilisateurs et fournir les réponses qui répondent le mieux à leurs requêtes ou questions.

2.2.3 Prise de décision

La prise de décision dans le contexte des SMA ouverts est considérée comme la capacité des agents à prédire si d'autres agents quittent le système ou de nouveaux agents sont maintenant présents. L'objectif est de décider et de choisir éventuellement une ligne d'action différente. À cette fin, le processus de décision de Markov est utilisé comme outil pour représenter les SMA ouverts. Dans ce contexte, le processus de décision interactif de Markov se concentre sur l'étude de l'impact des agents quittant en fournissant un ensemble d'équations pour prédire l'ouverture de l'agent, c'est-à-dire d'estimer lorsqu'un agent voisin quitte ou réengait le système (Chandrasekaran et al., 2016).

2.2.4 Détection d'anomalies

Comme l'ouverture devient une préoccupation importante, SMA ouvert devient de plus en plus vulnérable aux intrusions, aux abus et aux attaques. Par conséquent, la détection de telles menaces semble être nécessaire. Pour cette fin, la technique de modélisation est utilisée dans certaines œuvres. Par exemple, certaines méthodes de détection d'anomalies sont mentionnées dans la révision de Bijani (2012). Les graphiques de coordination sont parmi les approches de modélisation d'attaque les plus utilisées. Dans ces graphiques, les nœuds sont des États et les arcs représentent des attaques. Ils permettent la détection du groupe d'attaquants et ils aident à détecter des intrusions au niveau des fonctionnalités telles que les attaques de sondage et les attaques d'ontologie. Dans le même contexte, une approche au graphique est introduite à Kanfert et al. (2014). Il est proposé afin de détecter un comportement suspect au moment de l'exécution. Un tel formalisme permet d'appliquer des mesures telles que le prestige, la centralité des acteurs et les godets de réputation.

2.2.5 Vérification de la stabilité

La vérification de la stabilité est une tâche qui permet d'estimer non seulement la stabilité du système mais aussi l'exactitude du comportement de communication. Les modèles existants dans la littérature sont les suivants :

- Automates finis de l'état : dans des systèmes de stabilisation auto-agent multi-agent, où des agents peuvent subir des échecs temporaires ou permanents représentant, respectivement, le remplacement ou le départ d'un agent, des compositions variables sont modélisées comme graphique des machines d'état finis également appelées graphique de communication (Angluin et al., 2008). Ces automates montrent comment les agents changent de manière dynamique leurs états internes tout en interaction. Leur objectif est d'aider à concevoir des algorithmes qui finissent par se stabiliser sur la réponse souhaitée si les compositions système cessent de changer, c'est-à-dire une fois que le système est devenu fermé.
- Modèle de chaîne Markov : Afin d'obtenir des informations sur le niveau de stabilité dans l'évolution de SMA, un modèle de chaîne de Markov est utilisé dans De Wilde et Briscoe (2011). Ce dernier offre une meilleure compréhension et quantification de la stabilité du SMA. Cela représente une tentative de contrôler ces systèmes.

2.3 Modèles interactionnels

Les modèles interactionnels sont l'ensemble des méthodes et des protocoles mettant en évidence l'interopérabilité et le comportement communicatif entre les agents. Ces modèles présentent des règles, des normes et des protocoles assurant des interactions de l'agent dans l'environnement ouvert. Ils sont définis afin de réaliser certains objectifs tels que : la modélisation de confiance et de la réputation, la conformité des agents et la vérification de la conformité et la représentation des échanges de connaissances.

2.3.1 Modélisation de confiance et de réputation

En raison de la décentralisation des SMA ouverts, des agents peuvent être dites peu fiables et intéressés (Hyunh et al., 2006). Par conséquent, ils nécessitent des mécanismes pour contrôler leurs interactions et choisir des partenaires. À ce niveau, les mécanismes de confiance et de réputation sont apparus qui facilitent non seulement les interactions entre agents, mais également la conception des SMA. Ils sont définis comme des attentes de compétence et de volonté d'effectuer une tâche donnée afin d'estimer la fiabilité de chaque partenaire des agents et de décider si le

partenaire est suffisamment fiable pour interagir. Les modèles de confiance et de réputation les plus connus sont les suivants :

- Les modèles de confiance et de réputation centralisés : cette famille de modèles fonctionne très bien dans des environnements centralisés. Il vise à calculer la valeur de la réputation de chaque agent. Ces modèles de réputation sont utilisés dans la conception de sites de commerce électronique tels que eBay et Amazon. Les principaux exemples de ce contexte sont Histos Model, Carter et Alter Model, ainsi que les systèmes de réputation de Dirichlet.
- Les modèles de confiance et de réputation axés sur l'agent : cette famille de modèles de confiance et de réputation convient aux systèmes d'égal à pair. Il considère la réputation ou la confiance comme des propriétés subjectives ou cognitives. Par exemple, Le modèle de Abdul-Rahman et Haies (2000) vise à qualifier la relation entre deux agents en termes de fiabilité. Pour ce faire, pour chaque agent, un ensemble discret de quatre éléments est attribué : très digne de confiance, digne de confiance, très indigne de confiance, indigne de confiance. Puis, pour chaque instance de l'ensemble précédent, le nombre des expériences passées correspondantes est conservée et le maximum des valeurs de tuple est pris en compte pour décider de la confiance d'un agent pour son partenaire.

2.3.2 Vérification de la conformité des agents

Les SMA ouverts sont des systèmes où les entités interagissent de manière imprévisible et parfois non conformément aux politiques de conversation et aux protocoles d'interaction. Ainsi, la vérification de la conformité semble être importante et de nombreux travaux de recherche évoquent ce sujet. Par exemple, Baldoni et al. (2006) Vérifie la conformité de la politique de conversation d'un agent dans un protocole de conversation publique, qui repose sur la théorie des langues formelles. Le test de conformité est effectué à l'aide d'un automate d'état fini spécial. Dans le même contexte, Alberti et al. (2006) rédigent les protocoles vérifiés dans un formalisme basé sur la logique appelé contraintes d'intégrité sociale (ICS), et il peut être utilisé pour fournir une sémantique aux actions de communication et aux protocoles en termes d'attentes sur le comportement des agents. De Pinninck et al. (2010) utilisent la théorie des graphes afin de représenter le comportement normatif des agents. Ce dernier travail propose de modéliser le système en tant que réseau dans lequel les agents interagissent dans des règles définies sans connaître à l'avance les autres agents. De plus, Alechina et al. (2018) traite des

techniques permettant de vérifier si une exécution du système satisfait ou viole une propriété de correction donnée.

2.3.3 Représentation des échanges de connaissances

Dans SMA, la communication entre agents est assurée en échangeant des messages. Cet échange nécessite une compréhension mutuelle du sens du message. Le langage de communication de l'agent (ACL) est utilisé à cette fin. Il est considéré comme la norme de la mise en œuvre d'ACL en SMA. En raison de la propagation d'Internet, des technologies Web sémantiques sont exploitées afin de faciliter l'échange de données. Gan et al. (2018) proposent une combinaison du FIPA-ACL existant avec une bande sémantique (SW). Cette approche est proposée pour améliorer la communication entre agents et assurer une interopérabilité sémantique. À Jirkovsky (2019), une solution pour faciliter l'échange de données entre agents est proposée. Il est basé sur la modélisation des interfaces système et des messages au lieu du modèle de données.

Le tableau 23 résume les différents modèles d'analyse de l'ouverture des SMA.

Tableau 23. *Comparaison des modèles d'ouverture des SMA*

Modèles	Structurelles	Fonctionnels	Interactionnels	Objectif d'utilisation
Le modèle centralisé	X			Gestion d'ouverture
Le modèle distribué	X			Gestion d'ouverture
Le modèle hybride	X			Gestion d'ouverture
Modèle de Peer to Peer	X			Conception d'ouverture
Modèle de réorganisation	X			Conception d'ouverture
Évaluation de l'ouverture structurelle	X			Evaluation d'ouverture
Évaluation de la contrôlabilité structurelle	X			Evaluation d'ouverture
Le modèle basé sur le rôle		X		Conception
Le modèle axé sur le service		X		Conception
Modèles normatifs et institutions électroniques		X		Conception
Modèle de Markov		X		Prise de décision
Les modèles de confiance et de réputation centralisés			X	Modélisation de confiance et réputation
Les modèles de confiance et de réputation axés sur l'agent			X	Modélisation de confiance et réputation

D'après l'étude bibliographique exposée ci-dessus, il est clair que les modèles proposés dans le contexte des SMA ouverts ne sont pas définis d'un point de vue générique. En effet, ils sont proposés soit pour représenter une ouverture structurelle, soit pour modéliser l'aspect fonctionnel ou interactionnel. Mais, ils ne sont pas orientés pour représenter un modèle avec une compréhension plus générale et partagée de la maîtrise des SMA ouverts. En outre, chaque modèle proposé dans la littérature est défini afin de réaliser un objectif spécifique et dans un domaine d'application particulier.

2.4 Modèles génériques pour étudier l'ouverture des SMA

2.4.1 Graphes évolutifs

Les SMA ouverts sont des systèmes dynamiques avec une forte évolution au fil du temps. Leur nature changeante au niveau de la structure ou / et les fonctionnalités nécessite l'adoption d'un modèle dynamique. En effet, les modèles statiques et déterministes ne sont pas en mesure de montrer et de mettre en évidence les différentes modifications, qui rendent impossible de nombreuses tâches telles que l'évaluation, la prévision, la gestion, l'analyse et autant d'autres qui nécessitent des changements de surveillance au fil du temps. En outre, chaque fois qu'un système définit des éléments qui concernent et interagissent les uns avec les autres, il semble naturel de le représenter comme graphique dans lequel chaque nœud représente un composant et chaque arc symbolise une interaction entre deux composants. Ainsi, un graphique dynamique semble être adapté à la représentation du SMA ouvert. Zaki et al. (2016) définit un graphe dynamique comme étant une séquence : $=(G1, G2, \dots, GN)$). Lorsque chaque graphe statique $GI := (VI, EI)$ modélise un ensemble d'objets VI appelés sommets ou nœuds, et leurs relations $EI \subseteq vi \times VI$ appelé bords ou arcs. Le graphique $GI + 1$ est obtenu à partir de GI par de simples modifications : additions et déménagements de sommets et de bords.

De nombreux graphes dynamiques sont étudiés et analysés dans la littérature. Les plus connus sont : les réseaux complexes, les graphes évolutifs, les graphes de ré-optimisation, les graphes cumulatifs et les réseaux spatio-temporels. Ces graphes sont classés dans Pigné (2009) selon trois critères :

- **Dynamisme du graphe** : elle fait référence à la capacité du graphe dynamique à subir des modifications dans ses composants. Deux types de graphes dynamiques existent : les graphes entièrement dynamiques permettant des modifications dans les nœuds, les arcs et leurs attributs

associés et les graphes partiellement dynamiques ne permettant des changements qu'à certains composants.

- Connaissance préalable des événements d'évolution : les graphes dynamiques sont classés en deux catégories : ceux dont les événements d'évolution sont connus à l'avance et ceux dont les changements ne sont pas initialement connus mais progressivement révélés dans le temps.
- Processus d'évolution : ce critère distingue les graphes dynamiques en fonction de la manière dont les événements d'évolution sont générés. En fait, le processus de génération des événements peut être décrit dans le modèle ou résulte simplement d'applications aléatoires.

2.4.2 Graphe évolutif générique pour modéliser l'ouverture du SMA

Dans le cadre de ce travail, un graphe évolutif est utilisé pour modéliser le SMA ouvert d'une manière générique. Il s'agit d'un graphe dynamique de deux couches. La première est une couche externe représentant la structure SMA ouverte qui montre l'évolution des agents et de leurs relations dans le temps. Dans la deuxième couche, l'accent est mis sur les attributs et fonctionnalités internes.

2.4.2.1 La première couche : un graphe structurel évolutif

Ce graphe évolutif est constitué d'un ensemble de sommets V représentant les agents du système et d'un ensemble d'arcs E symbolisant les interactions liant les agents au cours du temps. En effet, une interaction peut être unidirectionnelle ou bidirectionnelle. C'est-à-dire qu'elle implique deux types d'agents : un agent demandeur, qui demande l'interaction, et des agents récepteurs, ceux qui subissent l'interaction. Ainsi, il semble judicieux de rendre le graphe générique orienté. Par ailleurs, chaque composante du graphe est nommée comme suit :

Chaque nœud v du graphe évolutif symbolise un agent a_i correspondant du système. En effet, chaque agent est caractérisé par un identifiant id qui le distingue des autres agents. De plus, dans un SMA ouvert, un agent peut apparaître et disparaître un certain nombre de fois, ce qui rend le système structurellement ouvert tel que défini précédemment. Ainsi, un ensemble de propriétés structurelles de l'agent a_i est affecté à chaque sommet v du graphe sous-jacent :

$$S_v = \langle id, Av, Rv, Pv \rangle \quad (1)$$

Où

- id est l'identifiant de l'agent a_i correspondant.
- Av est le nombre d'apparitions (ajouts) de l'agent a_i dans le système.
- Rv est le nombre de disparitions (suppressions) de l'agent a_i du système.
- Pv est le vecteur de présence du nœud v .

Un tel vecteur consiste à conserver un historique de l'évolution structurelle de l'agent dans le temps. Il est défini dans Pigné (2009) comme suit : Soit $G_i = (V_i, E_i)$ le sous-graphe du graphe sous-jacent $G = (V, E)$ à la date t_i . Un sommet v est dit présent à l'instant t_i si V_i . Ainsi, le vecteur de présence d'un sommet v du graphe sous-jacent G est un vecteur d'entiers tels que :

$$P_v(v, G_i) = \begin{cases} 1 & \text{si } V_i \\ 0 & \text{sinon} \end{cases} \quad (2)$$

Chaque arc e du graphe évolutif correspond à une interaction entre deux agents. En effet, chaque interaction est caractérisée par un identifiant d'émetteur $SrcId$ et un ensemble d'identifiants de récepteurs $DesId$. Pour chaque arc e du graphe sous-jacent, l'ensemble des propriétés structurelles de l'interaction correspondante sont comme suit :

$$S_e = \langle SrcId, DesId, Ae, Re, Pe \rangle \quad (3)$$

Où :

- $SrcId$ est l'identifiant de l'expéditeur.
- $DesId$ est l'ensemble des identifiants des récepteurs.
- Ae est le nombre d'apparitions (ajouts) de l'interaction correspondante.
- Re est le nombre de disparitions (suppressions) de l'interaction correspondante.
- Pe est le vecteur de présence de l'arc.

Un tel vecteur consiste à conserver un enregistrement historique de l'interaction structurelle dans le temps. Il est défini dans Pigne (2009) comme suit : Soit $G_i = (V_i, E_i)$ le sous-graphe du graphe sous-jacent $G = (V, E)$ à la date t_i . Un arc e est dit présent à l'instant t_i si E_i . Ainsi, le vecteur de présence d'un arc e du graphe sous-jacent G est un vecteur d'entiers tels que :

$$P_e(e, G_i) = \begin{cases} 1 & \text{si } E_i \\ 0 & \text{sinon} \end{cases} \quad (4)$$

2.4.2.2 La deuxième couche : graph évolutif fonctionnel

Dans la deuxième couche, chaque agent possède un ensemble de propriétés internes. Ils font référence aux attributs internes qui peuvent être ajoutés, supprimés ou/et dont la valeur change au fil du temps. En fait, la littérature donne une définition conventionnelle d'un agent. Il est défini comme un système informatique qui se situe dans un environnement dynamique et qui est capable de communiquer avec d'autres agents et d'utiliser ses connaissances et ses expériences pour atteindre un certain objectif. Cette définition expose les différents attributs internes d'un agent à

savoir : Connaissance, Action, But et Relation. En effet, ces attributs sont définis dans Sebai et Chaari (2014) afin d'expliquer et d'interpréter le raisonnement multi-agents. Dans le même travail, il est montré que les quatre attributs sélectionnés sont dans une relation causale. Ainsi, un graphe causal semble être plus approprié pour leur modélisation. Ils sont représentés comme un ensemble :

$$\langle ki(tj), Ai(tj), Gi(tj), Ri(tj) \rangle \quad (5)$$

Où

- $ki(tj)$: l'ensemble des connaissances encapsulées dans l'agent ai à l'instant tj .
- $Ai(tj)$: la valeur de l'action exécutée par l'agent ai à l'instant tj .
- $Gi(tj)$: la valeur du but que doit satisfaire l'agent ai à l'instant tj .
- $Ri(tj)$: il comprend un détail de communication à savoir l'identifiant de l'émetteur, les identifiants des récepteurs et le contenu du message.

Ce graphique est appelé graphique KAGR dans Sebai et Chaari (2014). Il permet de représenter toute modification au niveau des propriétés internes des agents, entre celles interactionnelles. Dans le contexte de SMA ouvert, les modifications représentées par le graphe KAGR sont :

- Ajout de connaissances : l'ajout de connaissances peut être provoqué par une communication entre deux agents. C'est-à-dire que lorsqu'un agent ai interagit avec un agent aj à l'instant t , de nouvelles connaissances peuvent être ajoutées à aj à l'instant t afin d'atteindre un certain objectif $Gi(t)$.
- Ajout d'action : une action peut être ajoutée à un agent pour trois raisons : (a) Une action déjà réalisée à l'instant t peut favoriser la possibilité d'en réaliser une autre par le même agent. Ceci provoque l'ajout d'une nouvelle action à son ensemble d'actions Ai à l'instant t . (b) L'ajout de nouvelles connaissances ki à l'instant t à un agent ai peut favoriser l'exécution d'une nouvelle action par le même agent à l'instant t . (c) Lorsqu'un agent aj interagit avec un autre agent ai à l'instant t , une nouvelle action peut être exécutée par ai à l'instant t , ce qui provoque son ajout à l'ensemble des actions Aj .
- Mise à jour de l'objectif : un objectif atteint à l'instant t par un agent ai peut favoriser l'atteinte d'un autre objectif à l'instant t . Il s'agit d'une modification de l'objectif.
- Addition d'interaction : une interaction établie par un agent ai peut-être la conséquence d'une autre interaction établie par un agent aj . Il s'agit d'une addition d'interaction.
- La suppression des connaissances/actions/buts/interactions : une telle suppression ne peut être provoquée que par la suppression physique d'agents.

3 Etude de cas

Dans cette section, le graphe évolutif présenté ci-dessus est appliqué sur le SMA proposé en chapitre précédent. L'objectif est d'analyser l'ouverture du dit système et étudier son comportement structurel, fonctionnel et interactionnel au fil du temps.

3.1 Première couche: graphe évolutif structurel.

Le SMA étudié en chapitre précédent est basé seulement sur un agent client CA1 et un agent distributeur composé d'un agent de base de données DBA1, un agent de calcul de livraison DAA1 et un agent de négociation DA1. Afin de simuler l'aspect d'ouverture de ce système, de nouveaux agents intègrent le système au fil du temps. Ces nouveaux agents sont les suivants : un agent de négociation MA, un agent de base de données MDBA, un agent de calcul de livraison MDA, un agent de négociation DA2, un agent de base de données DBA2, un agent de calcul de livraison DAA2 et trois autres agents clients CA2, CA3 et CA4. La figure 36 représente la première couche du graphe évolutif dans lequel les nœuds représentent les agents mentionnés en dessus et les arcs représentent les différentes interactions au fil du temps selon les équations expliquées dans la section précédente.

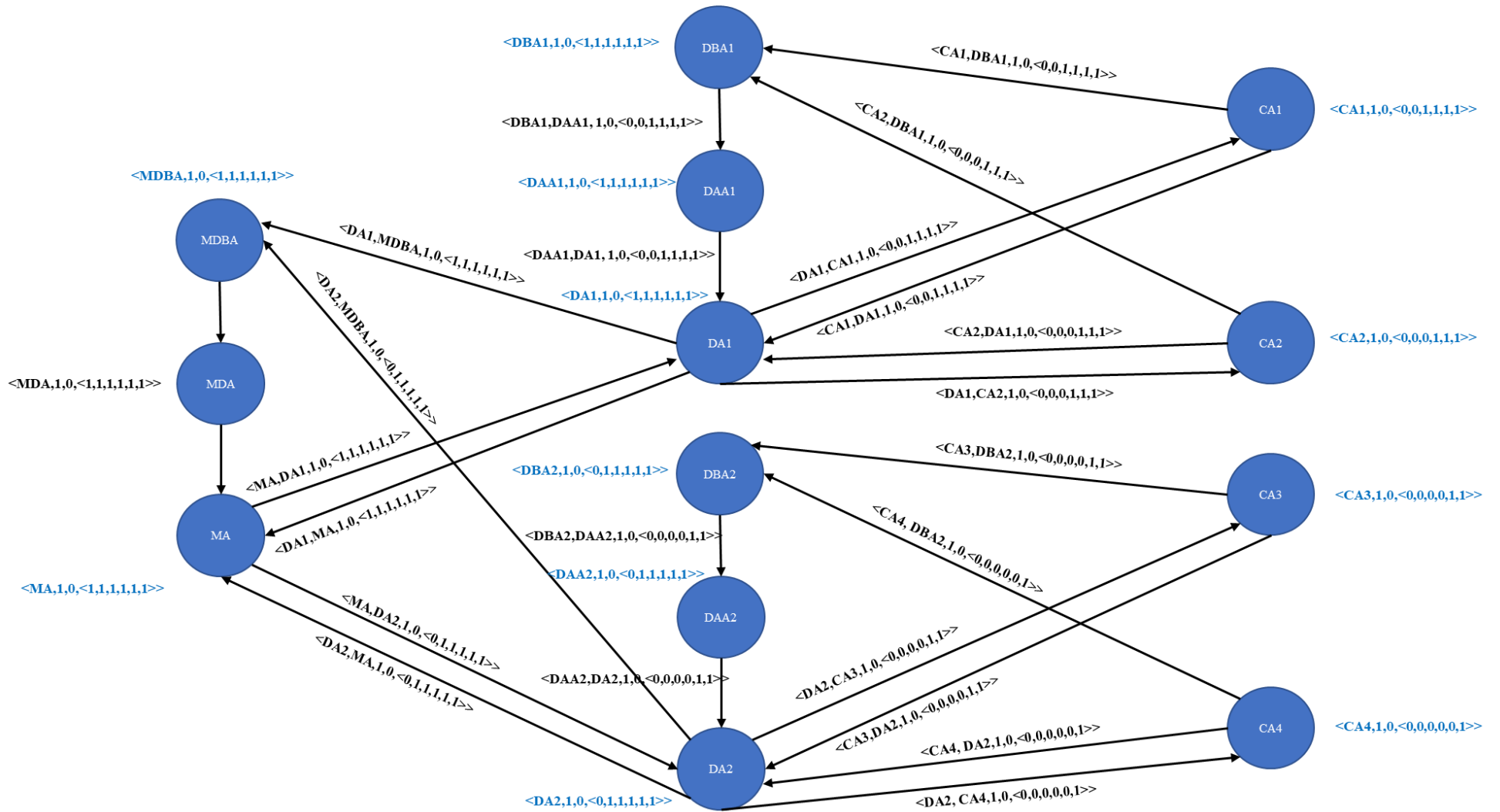


Figure 36. Graphe évolutif structurel

Au début de la simulation, le système commence avec des interactions entre le fabricant (agents : MA, MDBA et MDA) et le premier distributeur (agents : DBA1, DA1 et DAA1). Avec l'apparition du deuxième distributeur (agents DBA2, DA2 et DAA2), une nouvelle interaction est établie entre ce dernier et le fabricant. Ensuite, les autres agents clients (CA1, CA2, CA3 et CA4) rejoignent successivement le système et établissent des interactions avec les deux distributeurs comme l'indique dans la figure 37. L'objectif est toujours de prendre une décision collaborative et environnementale pour la livraison de produits depuis le fabricant vers les deux distributeurs et puis vers les quatres clients.

3.2 Deuxième couche : graphe évolutif fonctionnel et interactionnel.

Dans la deuxième couche, l'évolution des attributs internes pour chaque agent est étudiée. La simulation est faite sur six instants.

- Instant t1 :

L'agent DA1 établit une interaction R6(t1) avec l'agent MDBA. Cette interaction est sous forme d'une confirmation de commande. Elle provoque une nouvelle connaissance K1(t1) chez MDBA suivie par une action A1(t1) qui représente l'enregistrement de la commande dans la base de données. L'agent MDBA établit une nouvelle interaction R1(t1), cette fois ci avec l'agent MDA. Son objectif est d'informer MDA qu'il existe une nouvelle commande dans le système confirmée par l'agent DA1. MDA met à jour sa connaissance K2(t1) et puis elle exécute une action A2(t1). Cette dernière permet de déterminer les quantités à livrer à travers l'algorithme mathématique détaillé en chapitre précédent et de déterminer l'objectif à atteindre G1(t3) qui représente le coût total de livraison. Une fois terminé, il établit aussi une nouvelle interaction R2(t1) avec l'agent MA pour lui informer que le résultat du modèle mathématique est prêt. Celui-ci reçoit cette information à travers une mise à jour de sa connaissance K3(t1), et ensuite déclenche une nouvelle interaction avec l'agent DA1 qui initie de son tour une action A5(t1) qui représente le processus de négociation détaillé en chapitre précédent.

- Instant t2 :

L'agent DA2 rejoint le système et établit directement une interaction R10(t2) avec MDBA. De la même manière, MDBA met à jour sa connaissance avec la fonction K1(t2) et enregistre la commande dans le système à travers l'action A1(t2). Une fois terminé, il interagit avec MDA à travers R1(t2) pour lui informer de la nouvelle commande de DA2. L'agent MDA prend conscience

de cette nouvelle connaissance $K2(t2)$, exécute le programme mathématique à travers l'action $A2(t2)$ et met à jour son objectif d'optimisation de coûts de livraison $G2(t2)$. Ensuite, il crée une nouvelle interaction $R2(t2)$ avec l'agent MA qui met à jour sa connaissance $K3(t2)$ et interagit avec DA2 à travers la fonction $R3(t2)$. L'agent DA2 déclenche le processus de négociation après avoir pris conscience de la nouvelle connaissance $K10(t2)$.

- Instant $t3$:

Cet instant est marqué par l'apparition de l'agent client CA1. Celui-ci établit une interaction avec l'agent DBA1 pour confirmer sa commande. DBA1 reçoit cette information à travers la fonction $K4(t3)$ et enregistre la commande dans le système à travers la fonction $A3(t3)$. Ensuite, DBA1 interagit avec l'agent DAA1 pour lui informer qu'une nouvelle commande de CA1 est enregistrée. Ceci déclenche une fonction de connaissance $K5(t3)$ chez l'agent DAA1 et puis il exécute le programme mathématique à travers l'action $A4(t3)$ pour atteindre un nouvel objectif $G2(t3)$. Une fois terminé, il établit une interaction $R5(t3)$ avec DA1 pour lui informer des résultats trouvés. Ce dernier prend conscience de cette information à travers la fonction $K7(t3)$ et contacte l'agent CA1 qui initie le processus de négociation à travers la fonction $A9(t3)$.

- Instant $t4$:

Un nouvel agent client CA2 apparaît dans le système. Il commence par une interaction $R13(t4)$ avec l'agent DBA1. Cette interaction représente une confirmation de commande. L'agent DBA1 met à jour sa connaissance à travers la fonction $K4(t4)$ et puis exécute une action d'enregistrement des commandes $A3(t4)$. Une fois terminé, il prend contact avec l'agent DAA1 à travers l'interaction $R4(t4)$. DAA1 prend en compte la nouvelle connaissance $K5(t4)$ et l'exécute dans le programme mathématique à travers l'action $A4(t4)$. Ensuite, il met à jours son objectif $G2(t4)$ de l'optimisation du coût total de livraison. Après avoir terminé, il établit une interaction $R5(t4)$ avec l'agent DA1 pour lui informer du résultat final. DA1 prend conscience de cette connaissance $K7(t4)$ et crée une interaction $R7(t4)$ avec l'agent CA2 qui déclenche le processus de négociation à travers la fonction d'action $A10(t4)$ après avoir reçu la connaissance $K13(t4)$.

- Instant $t5$:

L'agent client CA3 rejoint le système. Il établit une première relation $R14(t5)$ avec l'agent DBA2. Celui-ci met à jour sa connaissance et enregistre la commande à travers la fonction $A6(t5)$. Ensuite, il prend en contact avec l'agent DAA2 pour lui informer de la commande de l'agent CA3. DAA2 exécute le programme mathématique à travers la fonction $A7(t5)$ et met à jour son objectif $G3(t5)$.

Ensuite, il informe DA2 des résultats trouvés par le biais d'une interaction R9(t5). DA2 met à jour sa connaissance et établit une interaction R11(t5) avec l'agent CA3 qui déclenche le processus de négociation traduit par l'action A11(t5).

- Instant t6

Le dernier agent client CA4 envoie une confirmation de commande à l'agent DBA2 traduite par une interaction R15(t6). DBA2 prend conscience de cette commande et l'enregistre dans le système à travers une action A6(t6), puis il fait une interaction R8(t6) avec l'agent DAA2 pour lui transférer la confirmation de commande. DAA2 met à jour sa connaissance K9(t6) et exécute l'action A7(t6) pour atteindre son objectif G3(t6). Une fois terminé, il interagit avec l'agent DA2 pour lui communiquer les résultats trouvés à travers la fonction R9(t6). DA2 prend en compte cette information et établit une interaction R11(t6) avec l'agent CA4. Ce dernier initie le processus de négociation à travers l'action A12(t6).

La figure 37 et le tableau 25 résument la simulation de ce SMA au fil du temps.

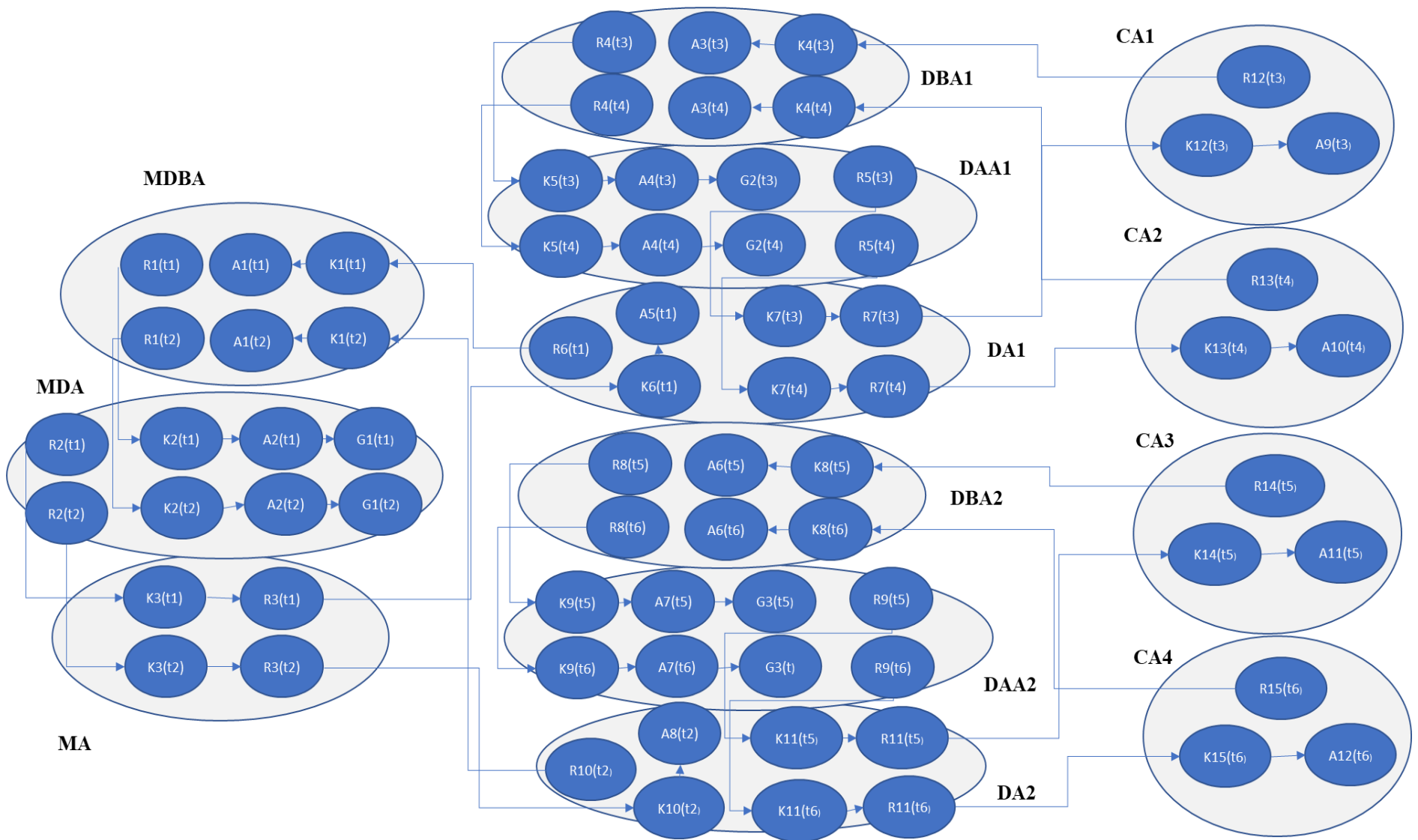


Figure 37. Graphe évolutif fonctionnel

Tableau 24. Description du comportement des agents

Instant	Agents	Fonction	Description de la fonction	Paramètre utilisé
t1	DA1	R6	Confirmer la commande	-
	MDBA	K1	Recevoir la commande	-
	MDBA	A1	Enregistrer la commande	-
	MDBA	R1	Informer	-
	MDA	K2	Mettre à jour l'information	
	MDA	A2	Exécuter programme mathématique	Programmation linéaire multi objective
	MDA	G1	Mettre à jour l'objectif	
	MDA	R2	Informer	
	MA	K3	Recevoir l'information	
	MA	R3	Informer	
	DA1	K6	Recevoir l'information	
	DA1	A5	Commencer le processus de négociation	Contraintes coût et de quantité
t2	DA2	R10	Confirmer la commande	-
	MDBA	K1	Recevoir la commande	-
	MDBA	A1	Enregistrer la commande	-
	MDBA	R1	Informer	-
	MDA	K2	Mettre à jour l'information	
	MDA	A2	Exécuter programme mathématique	Programmation linéaire multi objective
	MDA	G1	Mettre à jour l'objectif	
	MDA	R2	Informer	
	MA	K3	Recevoir l'information	
	MA	R3	Informer	
	DA2	K10	Recevoir l'information	

	DA2	A8	Commencer le processus de négociation	Contraintes coût et de quantité
t3	CA1	R12	Confirmer la commande	-
	DBA1	K4	Recevoir la commande	-
	DBA1	A3	Enregistrer la commande	-
	DBA1	R4	Informer	-
	DAA1	K5	Mettre à jour l'information	
	DAA1	A4	Exécuter programme mathématique	Programmation linéaire multi objective
	DAA1	G2	Mettre à jour l'objectif	
	DAA1	R5	Informer	
	DA1	K7	Recevoir l'information	
	DA1	R7	Informer	
	CA1	K13	Recevoir l'information	
	CA1	A10	Commencer le processus de négociation	Contraintes coût et quantité
t4	CA2	R13	Confirmer la commande	-
	DBA1	K4	Recevoir la commande	-
	DBA1	A3	Enregistrer la commande	-
	DBA1	R4	Informer	-
	DAA1	K5	Mettre à jour l'information	
	DAA1	A4	Exécuter programme mathématique	Programmation linéaire multi objective
	DAA1	G2	Mettre à jour l'objectif	
	DAA1	R5	Informer	
	DA1	K7	Recevoir l'information	
	DA1	R7	Informer	
	CA2	K13	Recevoir l'information	
	CA2	A10	Commencer le processus de négociation	Contraintes coût et quantité
t5	CA3	R14	Confirmer la commande	-

	DBA2	K8	Recevoir la commande	-
	DBA2	A6	Enregistrer la commande	-
	DBA2	R8	Informer	-
	DAA2	K9	Mettre à jour l'information	
	DAA2	A7	Exécuter programme mathématique	Programmation linéaire multi objective
	DAA2	G3	Mettre à jour l'objectif	
	DAA2	R9	Informer	
	DA2	K11	Recevoir l'information	
	DA2	R11	Informer	
	CA3	K14	Recevoir l'information	
	CA3	A11	Commencer le processus de négociation	Contraintes coût et quantité
t6	CA4	R15	Confirmer la commande	-
	DBA2	K8	Recevoir la commande	-
	DBA2	A6	Enregistrer la commande	-
	DBA2	R8	Informer	-
	DAA2	K9	Mettre à jour l'information	
	DAA2	A7	Exécuter programme mathématique	Programmation linéaire multi objective
	DAA2	G3	Mettre à jour l'objectif	
	DAA2	R9	Informer	
	DA2	K11	Recevoir l'information	
	DA2	R11	Informer	
	CA4	K15	Recevoir l'information	
	CA4	A12	Commencer le processus de négociation	Contraintes coût et quantité

La figure 38 illustre la simulation de ce système sur la plateforme JADE :

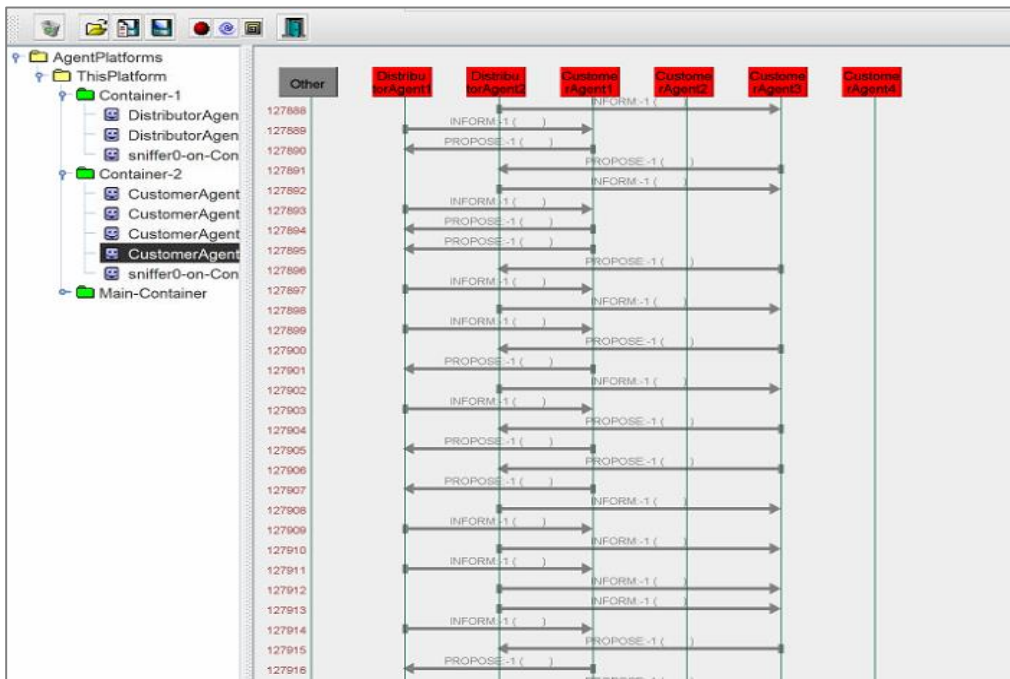


Figure 38. Simulation sur la plateforme JADE

4 Résultats et interprétation

La figure et le tableau présentent les résultats trouvés après la simulation de toute la chaîne.

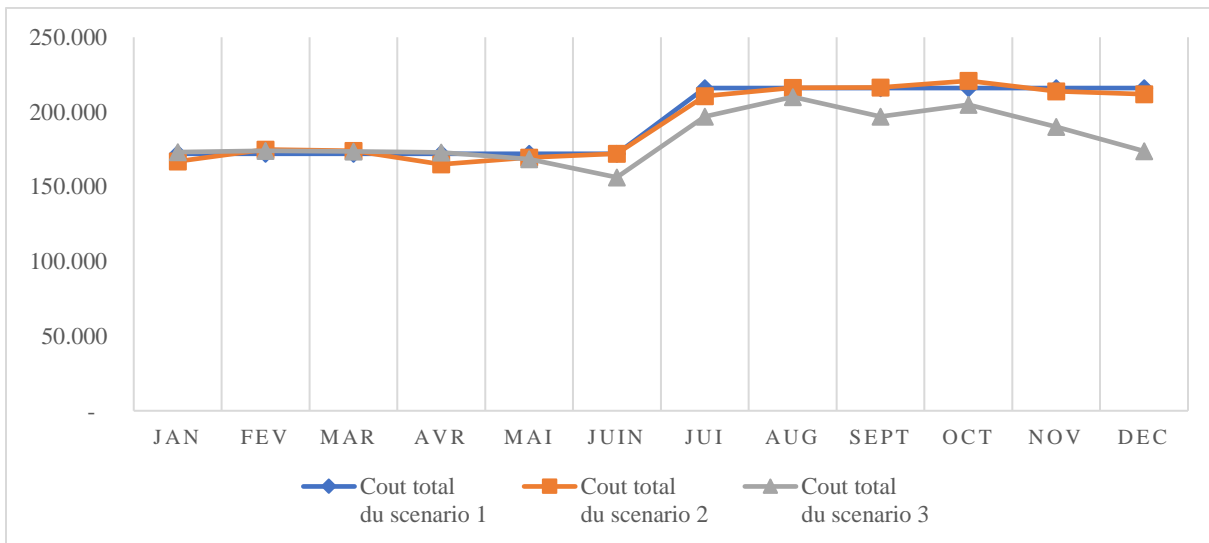


Figure 39. Evolution du coût total pour les trois scenarios

Tableau 25. Comparaison des coûts totaux des trois scénarios

Mois	Coût total du scénario 1	Coût total du scénario 2	Coût total du scénario 3
Jan	172.000	167.032	173.050
Fev	172.000	174.874	173.980
Mar	172.000	174.090	173.655
Avr	172.000	164.947	172.966
Mai	172.000	169.577	168.405
Juin	172.000	172.000	156.229
Jui	216.000	210.690	196.824
Aug	216.000	216.130	210.067
Sept	216.000	216.507	196.921
Oct	216.000	220.829	204.818
Nov	216.000	213.903	190.131
Dec	216.000	211.955	173.861
Total	2.328.000	2.312.534	2.190.906

Le premier scénario représente le scénario actuel de la Chaîne logistique étudiée ou il n'existe pas une considération des contraintes environnementales, notamment la taxe environnementale. Le coût de livraison de ce scénario est un coût fixe négocié en fonction des contrats établis avec les sociétés de transport, mais il est confirmé que ces coûts font l'objet d'une nouvelle négociation afin d'améliorer la performance financière et environnementale de cette Chaîne logistique. En passant du premier au deuxième scénario, les contraintes environnementales ainsi que l'optimisation des coûts de livraison sont assurées par la programmation linéaire multi objectif et la négociation à travers le modèle SMA proposé. D'après les résultats présentés dans le tableau 26, le coût total de livraison du deuxième scénario est légèrement inférieur au coût total relatif au premier scénario. Ceci montre que la prise en compte des contraintes environnementales ne génère aucun impact négatif sur la performance financière de cette Chaîne logistique. En revanche, le coût du deuxième scénario représente une réduction de 1% par rapport au premier scénario. Vu que cette réduction peut apparaître négligeable dans certains cas, le troisième scénario propose d'ajuster un autre paramètre relatif à la quantité de livraison afin de bien optimiser le coût total. Ainsi, le coût total de livraison relatif au troisième scénario représente une réduction significative de 6% par rapport au premier scénario.

Conclusion

Dans cette section, le comportement des agents dans un environnement ouvert est simulé pour une situation spécifique en utilisant un graphe évolutif générique. Le modèle généré montre comment les agents simulateurs évoluent dans le temps. Tout au long de la simulation, ils acquissent de nouvelles connaissances, exécutent de nouvelles actions, mettent à jour des objectifs et établissent de nouvelles interactions en cas de besoin.

Le graphique évolutif obtenu montre que l'ouverture est gérée à deux niveaux : au niveau structurel où les agents sont directement connectés via des interactions et au niveau fonctionnel où les propriétés internes sont gérées de manière causale. Enfin, par rapport aux modèles trouvés dans la littérature, ce modèle présente deux avantages majeurs. Il est générique et multi-objectif ce qui rend son utilisation plus facile et moins coûteuse. Les résultats sont testés et validés à travers le cas d'étude présenté en chapitre précédent dans un contexte du GSCM. Ce dernier connaît beaucoup de changements ces dernières années en particulier avec l'apparition de la crise sanitaire Covid 19.

Chapitre V : Les nouveaux défis du GSCM dans le contexte du Covid 19. Cas du Maroc.

Introduction : Dans le nouveau contexte économique, toute la Chaîne Logistique doit faire face à de nouvelles perturbations relatives à la pandémie mondiale Covid19. L'impact de cette dernière pose plusieurs défis à la durabilité de la Chaîne Logistique. L'objectif de ce chapitre est d'étudier les facteurs clés qui permettent d'atteindre les objectifs du GSCM en tenant compte de ce nouveau contexte économique particulier.

1 La crise sanitaire du Covid 19

En 2020, le monde entier a été touché par une crise sanitaire mondiale qui est le Covid19. Cette pandémie a été suivie par de conséquences économiques très sévères dues à la fermeture des frontières et la restriction de mouvement de marchandises et de passagers. D'après le Fonds Monétaire international (FMI), l'économie avancée a connu une baisse de 6% pendant l'année 2020, tandis que l'économie en cours de développement a connu une régression de 1%. Les répercussions économiques de cette situation s'articulent autour d'une perte importante d'emplois et une réduction significative des revenus.

Cette pandémie mondiale a créé aussi une condition défavorable sans précédent pour les Chaînes logistiques (Ivanov & Das, 2020). Environ 94% des entreprises ont vécu des perturbations de leurs Chaînes logistiques (Kilpatrick & Barter, 2020). Une fois le virus a été découvert en Chine, la majorité des exportations ont été annulées et reportées afin d'éviter sa propagation. Les exportations chinoises ont diminué d'environ 32% en 2020 (Sarkis, 2020). Vu la forte dépendance de plusieurs grandes entreprises aux fournisseurs chinois, la majorité des Chaînes logistiques de ces entreprises sont bouleversées. Plusieurs facteurs perturbants résultent de cette situation, comme les retards de livraison, les systèmes de transport vulnérables et le manque de la matière première. Chose qui a conduit à une dégradation de la performance globale des Chaînes logistiques en termes de revenus, de niveau de service et de productivité.

Au milieu de ces difficultés, la pandémie de Covid 19 a eu aussi un impact positif sur plusieurs aspects du SCM à savoir la durabilité. En effet, ce nouveau contexte économique pousse les décideurs et les professionnels de la Chaîne Logistique à repenser leurs stratégies globales et d'accélérer leurs capacités d'adaptation à long terme pour la gestion des défis et perturbations futurs (Remko, 2020).

2 Le GSCM et le Covid 19 :

Dans la littérature, il existe plusieurs études qui visent à identifier le rôle et l'impact du GSCM sur la performance financière et environnementale de la Chaîne Logistique. Mais ces recherches ne parviennent pas à un consentement sur l'efficacité du GSCM et concluent qu'il s'agit bien d'une question empirique relative au contexte étudié.

Pour le Covid 19, la même disparité en termes des résultats de recherches est constatée et deux types de conclusions émergent. Dans la première catégorie, les travaux de recherche affirment que

les pratiques GSCM n'exercent aucune influence sur les effets négatifs du Covid 19. Les études de la deuxième catégorie montrent que l'engagement et la collaboration dans le contexte du GSCM présente un avantage concurrentiel et une ressource stratégique pour faire face à de grands défis comme ceux relatifs à la pandémie. Le tableau 26 résume quelques travaux de recherches qui mettent en exergue les résultats de ces deux catégories :

Tableau 26. *Le GSCM et le Covid 19*

Auteurs	Impact du GSCM sur le Covid 19	Résultats de recherche
(Amankwah-Amoah, 2020)	Négatif	Les entreprises adoptent de plus en plus des initiatives environnementales, celles-ci sont souvent abandonnées dès qu'elles sont confrontées à des défis nouveaux et difficiles à prévoir. L'inefficacité du GSCM repose sur le fait que le Covid 19 n'est pas une crise environnementale, mais une crise sociale et sanitaire. Cela peut modifier considérablement les priorités de l'entreprise, de la durabilité environnementale à la durabilité sociale
(King & Lenox, 2001)	Négatif	Le GSCM ne donne pas lieu à un traitement préférentiel par les investisseurs dans les conditions normales de l'activité commerciale. Par conséquent, le GSCM serait probablement inefficace pendant la pandémie de Covid 19.
(World Economic Forum, 2020)	Négatif	Le risque de maladies infectieuses n'est pas cité par les acteurs mondiaux parmi les cinq premiers risques. Les investisseurs peuvent percevoir que cela est susceptible de changer après le COVID-19, car les préoccupations sociales et de santé deviennent plus importantes que la dimension environnementale.
(Laari et al., 2018)	Négatif	GSCM n'a aucun lien avec la performance financière de l'organisation et n'obtient pas non plus de soutien préférentiel de la part des investisseurs en période d'incertitude. Par conséquent, le critique a saisi cette occasion et a suggéré que le GSCM ne sera pas efficace pendant Covid 19.
(He & Harris, 2020)	Positif	La dimension éthique de la consommation est devenue plus saillante pendant la pandémie, et une évolution vers une consommation plus responsable et prosociale est attendue.
(Danso et al., 2020)	Positif	Les efforts inclusifs qui sous-tendent le GSCM contribuent à rendre les organisations plus attentives à déterminer et à répondre aux demandes environnementales des consommateurs et des autres parties prenantes
(Qiu et al. 2021)	Positif	Les entreprises qui s'engagent dans des pratiques de RSE peuvent générer des rendements boursiers plus rapides en période de crise
(Shanker et al. 2021)	Positif	Les organisations investies dans GSCM sont plus agiles pour faire face à une situation incertaine comme le Covid 19 car elles sont capables de gérer rapidement leur chaîne d'approvisionnement et d'éviter les pertes dues à une pénurie de matière première

D'après ces travaux de recherches examinés, il est clair que le GSCM présente un avantage pour les entreprises dans le contexte du Covid 19 sur le long terme, à travers la collaboration avec les partenaires de la Chaîne Logistique et la capacité de développer de nouveaux produits et solutions dans un contexte de plus en plus sensible aux enjeux durables. A l'inverse, le GSCM semble être moins avantageux sur le court terme vu que les décideurs de la Chaîne Logistique étaient plus intéressés par la grande résilience de leurs organisations pendant la période de crise pour éviter les perturbations et les effets négatifs plutôt que la performance environnementale.

En conclusion, les avantages à long terme du GSCM sont plus importants pour les organisations qui prennent en compte les enjeux environnementaux, à condition que la durabilité environnementale soit au cœur des stratégies et préoccupations de ces organisations dans le monde après Covid19. Une mise en œuvre réussite du GSCM est étroitement lié à un certain nombre de facteurs clés. L'adoption du GSCM peut reposer sur plusieurs facteurs clés associés aux organisations. Ces facteurs contribuent de manière significative à la réussite de la mise en œuvre du GSCM et peuvent même améliorer l'efficacité et la réactivité. De nombreuses entreprises commencent à mettre davantage l'accent sur ces facteurs clés en raison de multiples pressions et sensibilisations (Matthews et al., 2019).

3 L'analyse des facteurs clés de mise en œuvre du GSCM dans le contexte du Covid 19.

Dans la littérature liée au GSCM, plusieurs facteurs clés de réussite d'une stratégie GSCM sont identifiés et classifiés sous forme de facteurs internes et externes. Les premiers concernent toutes les pratiques de l'environnement interne des organisations comme l'engagement de la haute direction, les pressions des parties prenantes et des investisseurs, les préoccupations éthiques ainsi que la motivation du personnel. Les facteurs externes comprennent la réglementation et la législation gouvernementales, l'engagement des clients, la sensibilisation accrue de la société pour les enjeux environnementaux et l'intégration réussie des fournisseurs dans les stratégies durables. Dans le nouveau contexte économique, les organisations tendent vers un paradigme axé sur la demande pour gérer leurs Chaînes logistiques pendant le post covid. La pandémie met beaucoup de pression sur les organisations pour utiliser de nouveaux types de Chaînes logistiques, et par conséquent plusieurs stratégies de la Chaîne Logistique, comme le GSCM, connaissent un changement radical en termes des facteurs clés de leurs mises en œuvre.

3.1 Méthodologie de recherche

La figure 39 montre la configuration choisie pour faire cette étude des facteurs clés de la mise en œuvre du GSCM dans le contexte du Covid19.



Figure 40. Méthode recherche choisie

Cette méthodologie de recherche implique trois étapes essentielles. Dans un premier temps, une revue de littérature complète est utilisée pour identifier les variables et les facteurs nécessaires afin de réussir la mise en place du GSCM dans le cadre de l'épidémie du Covid 19 selon l'avis des experts. La confirmation des éléments et l'exploration à l'aide de l'outil SWARA pour le calcul du poids est incluse dans la deuxième étape. Finalement, une synthèse sur les facteurs clés dans le contexte choisie est donnée et suivie par une conclusion.

3.2 Revue de de littérature

Afin de créer la revue de littérature, une recherche approfondie sur les moteurs de recherche Web of Science et Scopus est réalisée en utilisant les termes suivants : GSCM ,les facteurs clés de mise en œuvre du GSCM dans le contexte du Covid19 , la collaboration durable entre les partenaires de la Chaîne Logistique dans le contexte du Covid19, le rôle de la digitalisation dans la durabilité de la Chaîne Logistique , la réglementation environnementale dans le contexte du Covid 19, le rôle des clients et des communautés dans les enjeux durables et les défis du changement climatique dans le contexte du Covid 19. Ces termes sont choisis après avoir étudié et filtré plusieurs de

travaux de recherche entre les années 2014 et 2021. La première recherche concerne 36 publications dans la base de données Web of Science et 44 publications sur Scopus. Après avoir éliminé les travaux ressemblants, 15 travaux de recherche sont considérés. Seulement les publications des journaux sont incluses, les publications des conférences ainsi que les présentations ne sont pas prises en compte. La figure 40 montre le nombre de publications faites sur les termes choisis.

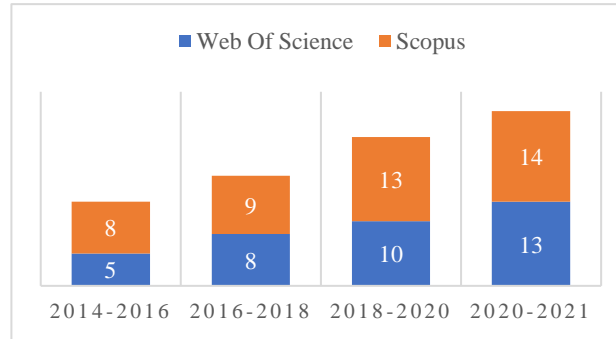


Figure 41. *Les travaux de recherches publiés sur les termes choisis*

Ces termes sont discutés et évalués par un panel des experts et des professionnels de la Chaîne Logistique afin de s’assurer de leurs pertinences dans le contexte choisi. Ces experts regroupent ces termes en quatre catégories à savoir la collaboration, la réglementation, la digitalisation et l’environnement. Finalement, ces termes représentent les critères de base utilisée pour la méthode SWARA.

3.2.1 La collaboration dans le contexte du Covid 19

Pendant le post Covid, les organisations sont obligées de collaborer davantage avec leurs partenaires de la Chaîne Logistique pour faire face à cette nouvelle situation d’incertitude en termes de demande, de risques et des coûts. De ce fait, la collaboration joue un rôle très important dans la gestion des risques de rupture de stock, l’optimisation des circuits de transport, et aussi dans le partage des risques et des coûts. Cette collaboration s’est basée sur plusieurs mécanismes comme le partage d’information en temps réel concernant tous les processus clés de la Chaîne Logistique, le partage des ressources corporels et incorporels, la coopération avec les fabricants pour prévoir les demandes inattendues par une préparation structurée, la planification collaborative pour garantir un flux fluide de matériaux et de production, ainsi que l’élaboration des stratégies d’approvisionnement durables compte tenu du Covid19.

Ces mécanismes de la collaboration ont eu un impact positif sur la performance globale de la Chaîne Logistique à travers la réduction des coûts et de l’effet de coup de fouet.

3.2.2 La digitalisation de la Chaîne Logistique dans le contexte du Covid 19 :

Les perturbations de la Chaîne Logistique liée à la pandémie indiquent des preuves irréfutables du besoin immédiat de décisions proactives et réactives pour cartographier les réseaux de la Chaîne Logistique et assurer plus de visibilité. Cette dernière peut être obtenue grâce à la numérisation, l'analyse du Big Data, l'analyse des données en temps réel et l'accessibilité des informations. De plus, la digitalisation et l'utilisation des modèles analytiques génèrent une grande quantité des données qui joue un rôle très important dans la question de durabilité à travers la communication numérique, la collecte des données en temps réel, la reconfiguration de la Chaîne Logistique et l'élaboration des stratégies durables.

3.2.3 La législation et les politiques environnementales

Dans la littérature liée au GSCM, plusieurs chercheurs soulignent l'importance des pressions institutionnelles et la réglementation environnementale dans la mise en œuvre des stratégies GSCM. En effet, de nombreuses mesures de réglementation environnementale sont déployées ces dernières années, notamment des réglementations administratives, taxes et sanctions contre la pollution ainsi que des redevances de pollution. Toutes ces mesures obligent les organisations à adopter des pratiques de développement durable en matière de gestion de l'environnement. (Tseng et al., 2019). À la suite de la situation économique engendrée par la pandémie, le financement de ces différentes pratiques liées à la réglementation environnementale représente un défi majeur pour les entreprises. Le soutien financier et non financier des gouvernements et d'autres parties prenantes est nécessaire afin de stimuler le processus de durabilité, de développer une Chaîne Logistique résiliente et d'assurer une stabilité entre les trois aspects de la performance globale (économique, environnementale et sociale).

3.2.4 L'environnement de la Chaîne Logistique dans le contexte du Covid 19

Au cours des dernières années, les consommateurs finaux sont devenus de plus en plus conscients des enjeux environnementaux. Ils n'exigent pas seulement des produits de bonne qualité mais aussi des produits respectueux de l'environnement. De ce fait, les organisations mettant en œuvre des produits écologiques sont plus concurrentielles et peuvent exporter leurs produits vers des marchés internationaux. Pendant le post covid, cette conscience et sensibilité envers les sujets durables, y compris l'environnement, renforce l'attention et la vigilance accrue des clients sur leur comportement d'achat et de consommation. En plus, le changement climatique est aussi un sujet qui rend le nouvel environnement de travail des organisations plus stimulant. En effet, les niveaux

d'émission des gaz à effet de serre continuent d'augmenter et présentent un vrai risque pour la performance globale de la Chaîne Logistique.

Le tableau 27 résume les facteurs et les sous facteurs de mise en œuvre du GSCM dans le contexte Covid 19 utilisés comme critères de base pour la méthode SWARA.

Tableau 27. *Facteurs de mise en œuvre du GSCM dans le contexte du Covid 19*

Facteurs	Sous facteurs	Description	Références
1. Collaboration	1.1 Partage d'information	Le partage d'informations améliore la chaîne de valeur ainsi que la collecte des réseaux de distribution critiques	(Kumar, 2019); (Bodi-Pakdeechoho & Sukhotu, 2018)
	1.2 Planification durable	La planification collaborative entre les partenaires de la chaîne d'approvisionnement garantit un flux de matériaux et de production fluide et développe des stratégies d'approvisionnement durables pour faire face à l'impact du COVID-19.	(de Sousa Jabbour et al., 2020) ; (Majumdar et al., 2020); (Moktadir et al., 2018)
2. Législation	2.1 Règlements environnementale	L'engagement de l'organisation vis-à-vis des lois, des gouvernements, des réglementations et d'autres problèmes environnementaux tels que la pollution, la réduction de la biodiversité, l'empreinte carbone, etc.	(Karmaker et al. 2020) ; (Jia et al. 2019)
	2.2 Soutien financier des gouvernements	Le soutien financier des gouvernements aide à stimuler le processus de durabilité	Nainsi & Gunjan, 2021)
3. Digitalisation	3.1 Digitalisation	La numérisation et la virtualisation génèrent une grande quantité de données qui rendent la Chaîne Logistique plus durable.	(Attaran, 2020); (Schniederjans et al., 2020)
	3.2 Modèles analytique	L'utilisation d'analyses de données modernes et en temps réel aide les organisations à réduire les délais et les transports inutiles	(Bag et al., 2020) ; (Ivanov & Dolgui, 2020)
4. Environnement	4.1 Sensibilisation des clients et pression communautaire	La sensibilisation des consommateurs aux produits durables a accru la pression sur les organisations pour qu'elles adoptent des pratiques durables.	(Moktadir et al., 2018) ; (Zimon et al., 2020)
	4.2 Changement climatique	La crise du Covid 19 fournit des leçons pour les enjeux du changement climatique	(Sarkis et al., 2020)

3.3 Etude de cas

3.3.1 Panel d'experts choisi

Vu l'aspect multi dimensionnel des stratégies GSCM notamment dans un contexte aussi compliqué que celui du Covid 19, Dix professionnels de différents domaines d'expertise sont choisis pour contribuer aux résultats de cette étude. Le tableau 28 montre les informations relatives au panel des experts choisis.

Tableau 28. *Panel d'experts choisis*

Nom de Variable	Type de variable	Nombre
Genre	Féminin	3
	Masculin	7
Age	30-35	3
	35-40	2
	40-45	5
Expérience	Moins de 7 ans	0
	7-9 ans	3
	9-11 ans	3
	11-13 ans	4
Secteur d'activité	Automobile	3
	Aéronautique	3
	Agroalimentaire	1
	Pharmaceutique	2
	Technologie de l'information	1

Deux responsables commerciaux sont sollicités afin de considérer les sujets de demande client et du développement commercial des marchés. Deux responsables de distribution et de transport sont impliqués pour donner leurs visions d'un point de vue opérationnel en logistique aval. Deux responsables achat et approvisionnement sont aussi sollicités pour couvrir la partie amont de la Chaîne Logistique et la collaboration avec les fournisseurs. Deux responsables de production font aussi partie de ce panel pour donner leur avis sur la logistique interne. Finalement, deux directeurs logistiques fournissent des éclaircissements sur le volet stratégique. Les années d'expérience de ces experts varient entre 7 et 15 ans.

3.3.2 Collecte des données :

Les données sont collectées d'un panel des experts (Annexe 2) pour donner leur avis, mais aussi pour évaluer le degré d'importance des facteurs et sous facteurs choisis et leurs ordres de priorité. Après l'analyse des dernières recherches de la Chaîne Logistique en utilisant la méthode SWARA, il s'est avérée que le nombre des experts choisi suit la même tendance de ces recherches récentes. En effet, le travail de recherche de Karuppiah et al. (2021) considère un panel de dix experts. Gupta et Soni (2021) impliquent seulement six experts. L'étude de Agarwal et al. (2020) utilise les données de sept experts. Finalement, Singh et Mogdil (2020) sollicitent onze experts dans leur étude. A partir de ces constats, les données collectées auprès du panel choisi peuvent être compréhensives.

3.3.3 Méthode SWARA

Cette étude utilise la méthode SWARA (Stepwise Weight Assessment Ratio Analysis) qui fait partie de l'approche MCDM (Multiple Criteria Decision Making). Plusieurs chercheurs affirment que cette dernière est au cœur des processus de prise de décisions (Ikram et al., 2020). La méthode SWARA est un outil très approprié pour la prise de décision de haut niveau parce qu'elle aide les décideurs à réduire l'ambiguïté et l'incertitude sur plusieurs enjeux (Zavadskas et al., 2018). L'expert joue un rôle crucial dans la méthode SWARA, puisqu'il évalue les paramètres clés en se basant sur sa connaissance et son expérience. L'élément le plus important de cette méthode est la capacité d'estimer les opinions d'experts et d'exclure les paramètres non pertinents. L'usage de cette méthode permet aux décideurs de répondre à leurs principales préoccupations en fonction des conditions environnementales et économiques (Gandhi et al., 2016). Cette approche est utilisée dans divers domaines, notamment la durabilité et la qualité de service (Prajapati et al., 2019).

La méthode SWARA est une méthode utile pour gérer et collecter des données auprès des experts. Elle calcule les coefficients de poids relatifs qui fournissent des résultats précis dans l'analyse pour une meilleure décision. Elle estime les opinions des experts sur le rapport d'importance des critères dans le processus de pondération.

La figure 42 décrit la procédure de la méthode SWARA

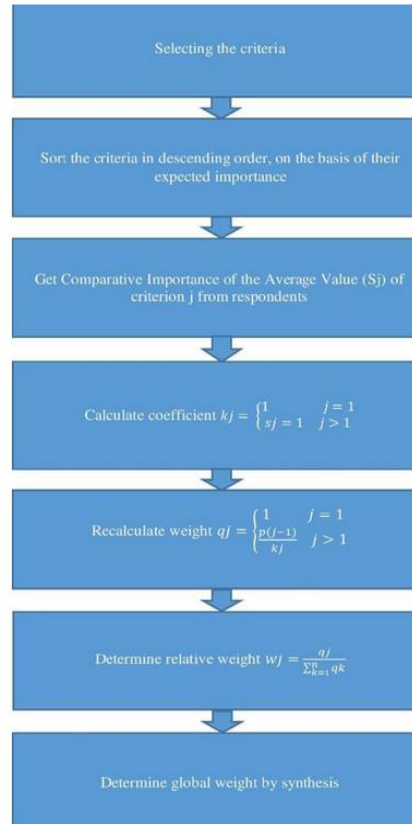


Figure 42. Procédure de la méthode SWARA. (Prajapati et al., 2019)

- Etape 1 : Classer les critères par ordre décroissant selon l’avis des experts.
- Etape 2 : En commençant par le deuxième critère, l’expert indique l’importance relative du critère j par rapport au critère initial (j-1), et ainsi de suite pour les autres critères. Ce ratio est nommé l’importance comparative de la valeur moyenne, Sj. (Kersuliène et al., 2010)
- Etape 3 : Calculer le coefficient kj

$$Kj = \begin{cases} 1 & j = 1 \\ S_j = 1 & j > 1 \end{cases} \quad (1)$$

- Etape 4 : Recalculer le degré au poids qj

$$qj = \begin{cases} 1 & j = 1 \\ \frac{p(j-1)}{kj} & j > 1 \end{cases} \quad (2)$$

- Etape 5 : Calculer les points finaux, wj est le poids relatif du critère w et n est le nombre de mesures.

$$wj = \frac{qj}{\sum_{k=1}^n qk} \quad (3)$$

- Étape 6 : Synthèse

La valeur w_j de la catégorie principale est calculée par la valeur w_j de leur sous-catégorie respective, générant une nouvelle valeur w_j globale pour chaque pièce. Cela reflète l'impact de la catégorie principale sur sa sous-catégorie. Pour obtenir un poids composite pour chaque critère, le jugement est combiné à l'aide de la moyenne géométrique (Keršulienė et al., 2010). Sur la base de ces ratios w_j globaux composites, les facteurs sont classés.

3.3.4 L'utilisation de la méthode SWARA :

Les priorités sont calculées en utilisant les facteurs et sous facteur identifiées en tableau 29. Il est demandé à chaque expert de donner une pondération. Dans le tableau 30, le calcul des poids relatifs aux critères principaux est donné en se basant sur l'estimation des experts. De la même manière, les poids relatifs aux sous critères sont décrits dans le tableau 30. Finalement, le tableau 31 illustre les poids globaux calculés en se basant sur les poids relatifs des critères et sous critères.

Tableau 29. *Pondération des critères principaux*

Critère par ordre décroissant	sj	kj	Qj	wj
1		1,00	1,00	0,40
3	0,55	1,55	0,65	0,26
4	0,40	1,40	0,46	0,19
2	0,20	1,20	0,38	0,15

Tableau 30. *Pondération des sous critères*

Critère	Sous ccritère	Sj	kj	qj	Wj
1	1-1		1	1	0,34
1	1-2	0,69	1,69	0,59	0,20
2	2-1		1	1	0,6
2	2-2	0,605	1,605	0,62	0,37
3	3-1		1	1,00	0,66
3	3-2	0,69	1,69	0,59	0,39
4	4-1		1	1	0,62
4	4-2	0,64	1,64	0,60	0,38

Tableau 31. *Poids globaux de tous les critères.*

Critère	Poids relatif du critère	Sous critère	Poids relatif au sous critère	Poids global	Ordre du poids global
1	0,40	1-1	0,34	0,14	2
		1-2	0,20	0,08	6
2	0,15	2-1	0,60	0,09	5
		2-2	0,37	0,06	8
3	0,26	3-1	0,66	0,17	1
		3-2	0,39	0,10	4
4	0,19	4-1	0,63	0,12	3
		4-2	0,38	0,07	7

3.4 Résultats et synthèse

La méthode SWARA est utilisée afin d'étudier les facteurs clés de mise en place des stratégies GSCM dans un contexte aussi particulier que le Covid 19. Les experts choisissent l'ordre suivant des paramètres : Critère 1, 3, 4, et 2. Ceci montre que la collaboration (critère 1), qui détient la plus grande pondération (0,4), est l'élément le plus important à considérer pour la mise en place du GSCM dans le contexte de la pandémie. Les Chaînes logistiques dépendent souvent de leurs partenaires afin d'atteindre un niveau de performance globale assez élevé. En conséquence, ces Chaînes logistiques doivent créer une configuration inclusive et vigoureuse pour répondre aux demandes des clients, mais aussi pour faire face aux enjeux durables et environnementaux dans le contexte de la pandémie mondiale. Le critère de la collaboration est divisé en deux sous critères : le partage de l'information (critère 1-1) et la planification durable (critère 1-2). Le partage d'information est une pratique collaborative très répandue dans les Chaînes logistiques permettant de partager une grande quantité de donnée entre les différentes partenaires afin de mieux gérer les différents flux de la Chaîne Logistique. Dans le contexte du Covid 19, le partage d'information en temps réel joue un rôle très important afin d'anticiper les risques et d'avoir un temps de réponse assez suffisant pour la prise de décisions. De plus, le partage des informations est à la base de plusieurs nouvelles solutions technologiques afin d'améliorer les performances économique, environnementale et sociale des entreprises. La planification durable est aussi une pratique collaborative qui visent l'alignement de plusieurs objectifs stratégiques, notamment l'élaboration des stratégies d'approvisionnement durables qui prennent en considération les enjeux

environnementaux. Dans le cadre de cette étude, il est clair que le poids global de ce sous critère n'est pas élevé par rapport aux autres, mais il s'agit d'un élément essentiel à considérer sur le long terme puisqu'il fait partie du facteur clé de la collaboration avec la plus grande pondération.

La digitalisation est le critère qui détient la deuxième plus grande pondération. Ceci s'explique par le développement accru des technologies de l'information et de communication dans les Chaînes logistiques. Dans le contexte du Covid 19, les organisations découvrent davantage les bénéfices de cette transformation digitale à travers l'adoption de nouvelles technologies de l'information, le traitement rapide des données, l'intelligence artificielle et la robotisation. Ces éléments contribuaient directement à l'allègement des effets négatifs de la pandémie, mais aussi représentent de vraies opportunités pour face aux nouveaux défis, notamment ceux lié au changement climatique.

Le critère de l'environnement dans lequel les organisations opèrent, arrive en troisième lieu d'après les opinions des experts. Le sous critère relatif à la conscience accrue des clients et consommateurs finaux par rapport à l'utilisation raisonnable des ressources naturelles représente un sous facteur clé de la mise en place du GSCM. En effet, les clients commencent à être plus vigilants par rapport à leurs modes de consommation et préfèrent davantage les produits respectueux de l'environnement. De plus, le Covid 19 a changé les comportements et les orientations d'achat des consommateurs finaux vers des produits avec moins d'impact sur la santé et l'environnement. En conséquence, les organisations sont appelées à considérer activement ce changement de mode de consommation dans les stratégies futures pour satisfaire les demandes clients et atteindre un succès sociétal. D'après les résultats de cette étude, les experts n'attribuent pas un poids global signifiant pour le lien entre le changement climatique et le Covid 19. Ceci peut s'expliquer par la nécessité de consacrer assez de temps à cette transition du Post Covid 19 avant de conclure les leçons et les bonnes pratiques qui peuvent être bénéfiques pour les autres enjeux durables.

Le dernier critère de la liste est la partie législative et règlementaire. D'après les résultats de l'étude, cette catégorie a eu le poids global le plus faible parmi les autres. Il est clair que les gouvernements jouent un rôle de régulateur des stratégies d'entreprises et peut encourager ces dernières à adopter plusieurs pratiques environnementales et durables. Le manque d'engagement des gouvernements et des institutions publiques dans les initiatives durables à travers un soutien financier et non financier empêche les organisations à faciliter la mise en place des stratégies GSCM. De ce fait, les gouvernements sont appelés à considérer l'impact financier du Covid 19 sur la performance

économique des organisations et s’engager activement dans les initiatives afin de maintenir les objectifs de durabilité.

Les résultats de cette étude aident à identifier les facteurs clés que les entreprises pourraient utiliser pour mettre en œuvre des stratégies du GSCM dans un contexte Marocain. Étant donné que le Covid-19 entraîne des conséquences à long terme sur les économies mondiales, l’étude indique que les Chaînes Logistiques doivent devenir durables pour survivre et réussir à long terme. Les facteurs clés déterminés dans cette étude peuvent être utilisés dans des projets futurs ainsi que pour la prise de décision organisationnelle. Dans cette étude, le cadre incorporant SWARA aidera les décideurs à comprendre les nombreux goulots d’étranglement qui surviennent lors de la transition vers le GSCM. En conclusion, les organisations doivent mettre à jour leur orientation stratégique afin de répondre aux nouveaux défis de durabilité. Le contexte du Covid 19 était bénéfique pour révéler les avantages de plusieurs pratiques qui peuvent être convertis en un vrai avantage concurrentiel. Il est à noter qu’il n’est pas possible d’intégrer ou de considérer tous les facteurs de mise en œuvre du GSCM à la fois. De ce fait, les décideurs de la Chaîne Logistique doivent se concentrer sur les solutions qui offrent les meilleurs résultats possibles pour leur cas d’étude et doivent trouver leur chemin vers cette transition verte dans une situation postpandémique. La figure illustre les facteurs clés discutés ci-dessus avec leur ordre d’importance.

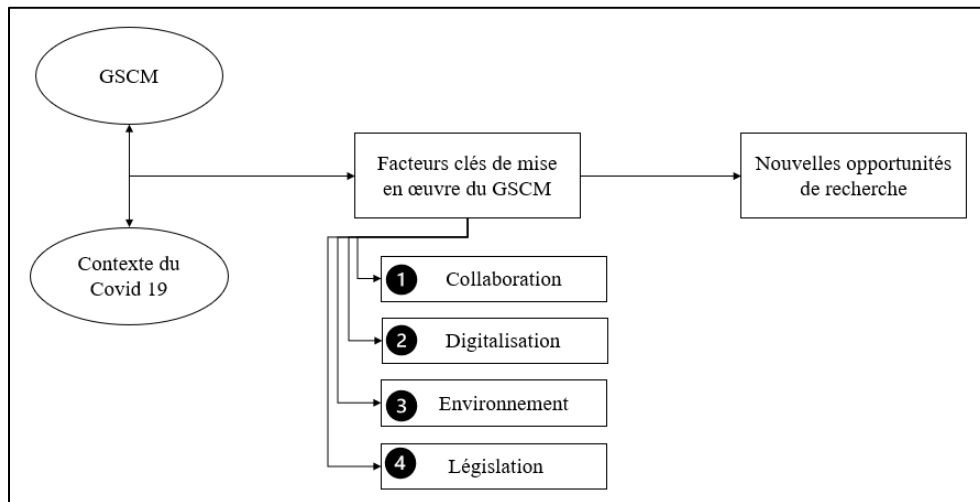


Figure 43. Synthèse de l’étude qualitative

À travers l’étude des nouveaux de ces facteurs clés, plusieurs opportunités de recherche pour la communauté scientifique du GSCM émergent après cette pandémie. Ceci se traduit par un certain nombre de questions qui représentent des directions de recherche. Le premier point concerne la

partie législative, ou il serait intéressant de voir comment les organismes de réglementation gouvernementaux ou quasi gouvernementaux contrôleront les exigences environnementales en matière d'approvisionnement (Kecinksi, et al., 2020). De plus, un changement de politique mondiale lié à la crise pourrait entraîner des restrictions dans l'accès aux matériaux pour les produits de l'économie verte, notamment l'augmentation des droits de douane qui pourrait perturber les réseaux de distribution d'énergie propre dépendant des matériaux et des métaux rares en provenance de la Chine (Temple, 2020).

Un deuxième aspect de recherche qui demande plus d'investigation, est l'analyse de la relation entre cette pandémie et d'autres crises de différente nature. L'objectif serait aussi de voir à quel point les leçons apprises au niveau plus large de la crise pandémique peuvent être appliquée à des perturbations et des catastrophes moins répandues. Par exemple, un événement localisé peut nécessiter des protections environnementales pour les résidents locaux tandis qu'un événement plus large avec préoccupations environnementales dispersées et à long terme – par ex. changement climatique - peut ne pas être aussi critique pour l'action de l'organisation et de la Chaîne Logistique (Sarkis et al., 2020).

Avec les nouveaux modes de consommation, les achats et les livraisons en ligne deviennent la nouvelle norme qui pourraient entraîner une amélioration ou une dégradation des résultats en matière de durabilité de la Chaîne Logistique, par exemple Wang et Zhu (2020) affirment que la livraison en ligne est très inefficace avec un excès d'emballage et de matériaux.

Le développement de l'aspect technologique et la transformation digitale sont au cœur de la situation postpandémique. Il serait aussi intéressant de voir comment l'utilisation des nouvelles technologies, par exemple les drones pour la livraison, peut réduire les émissions provenant des livraisons de véhicules. Ces nouvelles technologies pourraient devenir plus acceptables et réalisables car moins d'interaction humaine est attendue (Kumar et al., 2020).

Dans la littérature émergente, la question de savoir si la durabilité de la Chaîne Logistique sera altérée par la crise du Covid 19 retient l'attention (Sharma et al., 2020). L'inverse pour savoir si une stratégie de développement durable permettra aux organisations de survivre efficacement après la Covid 19 reste un sujet de recherche important.

Conclusion

Dans ce chapitre, une étude qualitative est réalisée afin de déterminer les facteurs clés de réussite de mise en œuvre du GSCM dans le contexte du Covid 19 en utilisant la méthode SWARA. Un panel de dix experts sont sollicités afin de participer à cette étude. Les résultats montrent que la collaboration reste toujours un élément clé de mise en œuvre du GSCM dans le contexte du Covid19. L'autre paramètre clé est la digitalisation qui peut faciliter la mise en place d'une stratégie GSCM suivie par l'environnement lié à la conscience des consommateurs finaux ainsi que la législation. A la fin, plusieurs nouvelles opportunités de recherche émergent à l'issue de cette qualitative. En effet, l'aspect législatif pourrait connaître plusieurs changements en termes du contrôle des exigences environnementales, ensuite le changement des modes de consommation et l'impact du commerce en ligne sur l'environnement pourrait aussi un sujet de recherche qui demande plus d'investigation. De plus, il serait intéressant de voir comment l'utilisation de nouvelles technologies pourrait contribuer à la réduction de l'impact environnemental.

Conclusion Générale

1 Rappel de la problématique

Les enjeux environnementaux deviennent une préoccupation majeure de tous les acteurs internes et externes de la Chaîne Logistique en raison de l'augmentation de la conscience environnementale. De ce fait, plusieurs chercheurs s'intéressent davantage à la question de durabilité, proposent plusieurs pratiques afin de réussir cette transition vers le GSCM et évaluent l'impact de cette approche sur la performance globale de la Chaîne Logistique. La collaboration avec les clients et la réglementation environnementale représentent deux pratiques clés qui peuvent aider les décideurs de la Chaîne Logistique à réduire l'impact environnemental de leurs activités. Cependant, la mise en œuvre de ces pratiques est pleine d'obstacles financiers, technologiques et de connaissance. Pour cette raison, la littérature en GSCM suggère d'avoir un échange d'information structuré et une bonne communication entre les partenaires de la Chaîne Logistique à travers les nouvelles technologies d'information qui peuvent offrir des solutions aux limites des approches mathématiques traditionnelles. Les SMA sont identifiés comme étant une approche de modélisation pour le SCM, qui vise à traiter le manque de communication et la mauvaise coordination entre les membres de la Chaîne Logistique.

Cette thèse de recherche propose un cadre de travail pratique pour faciliter l'échange de l'information et le processus de collaboration environnementale à travers les SMA dans le cas d'une Chaîne Logistique avale en tenant compte de la partie législative notamment, les taxes environnementales. La méthodologie de recherche suivie est la méthodologie recherche action intervention ou plusieurs experts du domaine sont sollicités afin de contribuer aux résultats de cette recherche. Cette étude commence par une analyse bibliographique générique sur les aspects clés notamment, le SCM, le GSCM et les SMA. Ensuite, une approche hybride composée d'une architecture SMA décentralisée et un modèle de programmation multi objective linéaire est adoptée afin de faciliter le processus de collaboration pour le cas d'étude d'une Chaîne Logistique avale dans le secteur automobile. La simulation est réalisée premièrement pour une seule relation dyadique entre deux agents en utilisant le langage de programmation JAVA (Annexe 1) ainsi que la plateforme JADE pour visualiser l'échange d'information. Ensuite, une étude de l'ouverture du SMA est réalisée à travers le rajout des autres agents de la Chaîne Logistique avale considérée. Les résultats de la recherche montrent que les SMA sont capables d'adresser les problèmes de

complexité des processus de collaboration et peuvent présenter une bonne base pour la prise de décisions durables. De plus, cette étude montre que la considération des contraintes environnementales telles que les taxes et les coûts environnementaux n'a pas un impact négatif sur la performance économique de la Chaîne Logistique considérée. Le modèle proposé est étudié avec d'autres paramètres tels que l'ajustement des quantités, ceci entraîne un impact positif sur la performance économique à travers la réduction des coûts liés à la livraison des produits.

Finalement, une étude qualitative est proposée afin d'explorer les facteurs clés de mise en œuvre des stratégies GSCM dans le contexte du Covid 19 ou plusieurs fondements de management sont changés. La méthode SWARA est utilisée afin de collecter et d'analyser les données d'un panel de dix experts. Les résultats de cette étude montrent que la collaboration est le premier élément à considérer dans les questions de durabilité dans une situation post pandémie à travers l'échange d'information entre les différents partenaires de la Chaîne Logistique. Le deuxième facteur clé identifié est celui de la digitalisation et l'analyse des données afin de réussir cette transition vers le GSCM. Finalement, cette thèse est conclue par une perspective sur les nouvelles opportunités de recherche en matière du GSCM dans le contexte du post Covid 19.

2 Apports

2.1 Apports scientifiques

Cette thèse de recherche s'inscrit dans le cadre d'une problématique liée à l'impact du GSCM sur la performance de la Chaîne Logistique. Plusieurs travaux de recherche traitent cette problématique, mais ils n'arrivent pas à un consensus sur la nature de relation entre le GSCM et la performance de la Chaîne Logistique. Ils concluent qu'il s'agit bien d'une question empirique relative au contexte étudié et font appel à d'autres contributions avec des angles d'analyse différentes tout au long de la Chaîne Logistique. De plus, le nouveau contexte économique due à la pandémie mondiale requiert une analyse approfondie pour identifier l'impact de la situation post pandémie sur la réussite de mise en place des initiatives durables et mettre à jour les perspectives de recherche sur ce sujet.

2.2 Apports méthodologiques

D'après l'étude bibliographique réalisée dans le cadre de ce projet de recherche, les SMA ont été largement utilisées dans le SCM et font preuve d'une grande capacité de traiter des problèmes

complexes dans le cadre de la Chaîne Logistique. Cependant, l'utilisation de ces systèmes dans le GSCM reste très limitée et concerne seulement quelques processus de la Chaîne Logistique. Cette étude vise à explorer la pertinence des SMA dans le contexte du GSCM et à ouvrir une nouvelle perspective de recherche pour traiter les questions de durabilité. De plus, la méthodologie recherche action intervention est utilisée afin de valider les résultats du modèle proposé.

2.3 Apports managériaux

Cette étude propose un cadre de travail pratique validé par des données réelles qui pourraient être utilisée par les décideurs de la Chaîne Logistique. L'ouverture du modèle proposé offre la possibilité de rajouter ou d'ajuster des paramètres afin de de l'adapter à un contexte différent. De plus, les résultats fournis par l'étude qualitative présentent des directives claires sur les facteurs clés de réussite de la mise en œuvre du GSCM dans le contexte du post Covid 19. Ceci permet aux décideurs d'avoir une vision claire pour adresser les enjeux durables de leurs Chaînes logistiques.

3 Perspectives de développement

Les travaux menés dans cette thèse peuvent être poursuivis dans différentes directions. En effet, L'analyse de la relation entre le GSCM et la performance globale de la Chaîne Logistique reste un sujet d'actualité qui pourrait être enrichi à travers des études de cas dans des contextes différents. Le rajout de la dimension sociale pourrait aussi contribuer à cette direction de recherche sur la durabilité en mesurant aussi la performance sociale de la Chaîne Logistique. De plus, l'usage des SMA dans le contexte du GSCM nécessite plus d'investigations et pourrait être proposé comme étant une nouvelle perspective de recherches futures. Dans cette étude, Les paramètres utilisés dans le système peuvent être configuré différemment selon le cas d'étude. En effet, la programmation linéaire multi objective est utilisé pour déterminer le coût total de livraison en prenant en compte les contraintes financières et environnementales. D'autres contraintes liées au temps de livraison, par exemple, peuvent être utilisés pour enrichir l'étude et pour rendre le modèle plus proche de la réalité. En plus, d'autres techniques d'optimisation mathématiques comme la programmation non linéaire ou heuristiques peuvent aussi donner de meilleurs résultats. Pour le processus de négociation, les éléments pris en considérations sont les contraintes de coût et quantité qui sont relatives à ce cas d'étude. Les valeurs de ces dernières peuvent changer en fonction du besoin et aussi des contraintes de différente nature peuvent être utilisés comme base de négociation.

De plus, L'étude qualitative réalisée dans le cadre de cette thèse implique un panel de dix experts. Il serait intéressant d'élargir le nombre des experts à solliciter afin d'avoir une vue plus globale et compréhensive. L'identification de la relation entre le Covid 19 et les autres crises reste aussi un sujet de recherche important.

References

A

- Abdul-Rahman, A. and Hailes, S. (2000), Supporting trust in virtual communities. In *Proceedings of Hawaii's international Conference on Systems Sciences*. IEEE.
- Abushaikha, Ismail, Salhieh, Loay and Towers, Neil (2018), Improving distribution and business performance through lean warehousing. *International Journal of Retail and Distribution Management*, 46 (8). pp. 780-800.
- Agarwal S, Kant R, and Shankar R., (2020), Evaluating solutions to overcome humanitarian supply chain management barriers: a hybrid fuzzy SWARA – Fuzzy WASPAS approach. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. 5:101838.
- Ajay Singh, Bhim Singh and Ashwani Dhingra, (2012), Drivers and Barriers of Green Manufacturing Practices: A Survey of Indian Industries, IJMRS's. *International Journal of Engineering Sciences*, Vol. 01, Issue 01.
- Akbari Jokar, M. R., Frein, Y. and Dupont, L, (2000), l'évolution du concept de logistique. *Les troisièmes rencontres internationales de la recherche en logistique*, Trois-Rivières.
- Alberti, M., Gavanelli, M., Lamma, E., Chesani, F., Mello, P. and Torroni, P. (2006). Compliance verification of agent interaction: a logic-based software tool. *Applied Artificial Intelligence* 20(2–4), 133–157.
- Albu, Angela. (2017). Industrial Symbiosis: An Innovative Tool for Promoting Green Growth. *Sustainable Economic Development*; Eds., Springer International Publishing. pp. 1–29.
- Alechina, N., Dastani, M. and Logan, B. (2018). Norm specification and verification in multi-agent systems. *Journal of Applied Logics* 5(2), 457.
- Amankwah-Amoah, Joseph (2020), Stepping Up and Stepping Out of COVID-19: New Challenges for Environmental Sustainability Policies in the Global Airline Industry. *Journal of Cleaner Production*.
- Amaral, C. J. and Hübner, J. F. (2019), GoOrg: Automated organisational chart design for open multi-agent systems. *International Conference on Practical Applications of Agents and Multi-Agent Systems*, 318–321. Springer.
- Amblard, F. and Ferrand. N., (1998), Modélisation multi-agents de réseaux sociaux, application à l'analyse de décision de groupe en agriculture. *Proceedings of the Conference Systèmes Multi-agents pour la gestion de l'environnement et des territoires*, 153-168.

-
- Anass Cherrafi, Said Elfezazi, Jose Arturo Garza-Reyes, Khalid Benhida and Ahmed Mokhlis (2017) Barriers in Green Lean implementation: a combined systematic literature review and interpretive structural modelling approach, *Production Planning & Control*, 28:10, 829-842.
 - Angluin, D., Aspnes, J., Fischer, M. J. and Jiang, H. (2008), Selfstabilizing population protocols. *ACM Transactions on Autonomous and Adaptive Systems (TAAS)* 3, 13.
 - Attaran M., (2020), Digital technology enablers and their implications for supply chain management. *Supply Chain Forum: An International Journal*. 1–15.
 - Ayantoyinbo, B., and Gegeleso, O. M. (2018). Impact of Inbound and Outbound Logistics Services on Small Scale Business. *Transport & Logistics*. Vol. 18 (44), pp. 69-76

B

- Baboli, A., Fondrevelle, J., Tavakkoli- Moghaddam., R, Mehrabi, A. (2011), A replenishment policy based on joint optimization in a downstream pharmaceutical supply chain: centralized vs decentralized replenishment, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 57, 367-378
- Bag S., Wood L.C., Xu L., Dhamija P., and Kayikci Y. (2020), Big data analytics as an operational excellence approach to enhance sustainable supply chain performance. *Resources, Conservation & Recycling*, 153.
- Bakhta Nachet. Modèle multi-agents pour la conception de systèmes d'aide à la décision collective. (2014), *Thèse doctorale*. Université d'Oran.
- Baldoni, M., Baroglio, C., Martelli, A. and Patti, V. (2006), Verification of protocol conformance and agent interoperability. *International Workshop on Computational Logic in Multi-Agent Systems*, 265–283. Springer.
- Beamon, B.M. (1999), Designing the Green Supply Chain. *Logistics Information Management*, 12, 332-342.
- Behrends, S., Lindholm, M., and Woxenius, J. (2008). The impact of urban freight transport: A definition of sustainability from an actor's perspective. *Transportation planning and technology*, 31(6), pp. 693-713.
- Ben Mekki, J. Tounsi, L. Ben Said, “Fuzzy Multi Agent approach for monitoring SMEs sustainable SC under uncertainty,” *Procedia Computer Science*, vol. 164, pp. 245-250, 20

-
- Bernon, C., Gleizes, M.-P., and Picard, G. (2009). Méthodes orientées agent et multi-agent. In El Fallah-Seghrouchni, A. and Briot, J.-P., editors, *Technologies des systèmes multi-agents et applications industrielles*, Collection IC2, chapter 2, pages 45--76. Hermès.
 - Bijani, S. (2012), A review of attacks and security approaches in open multiagent systems. *Artificial Intelligence Review* 42(4), 607–636.
 - Billatos, S., and Basaly, N. (1997), Green Technology and Design for the Environment, *Taylor & Francis*, Bristol PA.
 - Boissier, O., Gitton, S. and Glize, P. (2004), Caractéristiques des systèmes et des applications, *Systèmes multi-agents/Observatoire français des techniques avancées*, ARAGO 29, 25–54, Diffusion Editions & Tec Doc.
 - Bonabeau E., Dorigo M., et Theraulaz G., (1999), Swarm Intelligence : from natural to artificial intelligence. *Oxford University Press*, Inc
 - Botta-Genoulaz V., (2005). Principes et Méthodes pour l'Intégration et l'Optimisation du pilotage des Systèmes de Production et des Chaînes Logistiques. Rapport de HDR, tome 1, *Institut National des Sciences Appliquées de Lyon et Université Claude Bernard de Lyon 1*.
 - Boudreau, M.-C., Chen, A. and Huber, M. (2008), Green IS: Building sustainable business practices, *Information Systems: A Global Text*, pp. 1-17
 - Bousquet, F., LePage C., Bakam I. and Takforyan A., (2001), multi-agent simulations of hunting wild meat in a village in eastern Cameroon. *Ecological modelling*, 138: 331-346
 - Bowen, Frances. (2000), Environmental visibility: A trigger of green organizational response, *Business Strategy and The Environment*. 9. 92-107.
 - Bratman, Michael E. (1987), *Intention, Plans, and Practical Reason*, Cambridge: Harvard University Press.
 - Brazier, F.M.T., Jonker, C.M., Treur, J. (1997), Formalisation of a cooperation model based on joint intentions. *International Workshop on Agent Theories, Architectures and Languages, Lecture Notes in AI*, volume 1193, Springer Verlag, 1997, pp. 141-155
 - Briot, Jean-Pierre & Demazeau, Yves. (2001). *Introduction aux systèmes multi-agents*.
 - Brooks R., (1986). A Robust Layered Control System for a Mobile Robot, *IEEE Journal of Robotics and Automation*, 2, 1, pp.14-23

-
- Calmet, J., Daemi, A., et Endsuleit, R. (2003), A liberal approach to openness in societies of agents. *International Workshop On Engineering Societies in the Agents World*, 81–92. Springer.
 - Carter C.R., Ellram L.M. (1998), Reverse Logistics: A review of the literature & framework for future investigation. *Journal of Business Logistics*, 19 (1), pp. 85-102
 - Carter, C.R., Dresner, M., (2001), Purchasing's role in environmental management: cross-functional development of grounded theory. *Journal of Supply Chain Management* 37, 12-27.
 - Chaibdraa, Brahim, (2002), Causal Maps: Theory, Implementation, and Practical Applications in Multiagent Environments. Knowledge and Data Engineering, *IEEE Transactions* 14. 1201-1217.
 - Chandrasekaran, M., Eck, A., Doshi, P. and Soh, L. (2016), Individual planning in open and typed agent systems. *Proceedings of the Thirty-Second Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence*, 82–91. AUA Press.
 - Chardine-Baumann, Emilie and Botta-Genoulaz, Valérie. (2014), A Framework For Sustainable Performance Assessment Of Supply Chain Management Practices. *Computers & Industrial Engineering*, 76.
 - Chen, J.M. et Cheng, H.L. (2012), Effect of the price-dependent revenue-sharing mechanism in a decentralized supply chain, *Central European Journal of Operations Research*, Springer-Verlag, 20(2), 299–317
 - Chen, Y. & Chen, X. 2019. Research on knowledge graph application technology. *Journal of Physics: Conference Series* 1187(4), 042083.
 - Chouinard, G.A., Swain, D.P., Hammill, M.O., and Poirier, G.A. (2005), Covariation between grey seal (*Halichoerus grypus*) abundance and natural mortality of cod (*Gadus morhua*) in the southern Gulf of St. Lawrence. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 62: 1991–2000.
 - Ciordea, A., Mayer, S., Gandon, F., Boissier, O., Ricci, A. and Zimmermann, A. (2019), A decade in hindsight: the missing bridge between multi-agent systems and the World Wide Web. *Proceedings of the 18th International Conference on Autonomous Agents and MultiAgent Systems*, 1659–1663.

-
- Cooper, M.C., Lambert, D.M. and Pagh, J.D. (1997), Supply Chain Management: More Than a New Name for Logistics , *The International Journal of Logistics Management*, Vol. 8 No. 1, pp. 1-14.
 - Croom, Simon, Romano, Pietro and Giannakis, Mihalis. (2000), Supply Chain Management: An Analytical Framework for Critical Literature Review. *European Journal of Purchasing & Supply Management*. 6. 67-83.
 - Crum, M., Poist, R., Carter, C.R. and Easton, P.L. (2011), Sustainable supply chain management: evolution and future directions, *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, Vol. 41, No. 1, pp. 46-62

D

- Danso, A., Adomako, S., Lartey, T., Amankwah-Amoah, J., and Owusu-Yirenkyi, D. (2020), Stakeholder integration, environmental sustainability orientation and financial performance. *Journal of Business Research*, 119, 652-662.
- Datta, P. P. and Christopher, M. G. (2011), Information sharing and coordination mechanisms for managing uncertainty in supply chains : a simulation study, *International Journal of Production Research*, 49(3), 765-803
- Dawei, Zhang, Abu Bakar Abdul Hamid, Thoo Ai Chin and Kooi Chung Leng. (2015), GSCM: A Literature Review.
- De Brito M., Dekker R., Flapper S. D. (2005), Reverse Logistics: A Review of Case Studies, In Fleischmann B., Klose A. (eds), *Distribution Logistics. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*, vol 544. Springer, Berlin, Heidelberg Distribution Logistics, pp. 243-281.
- De Brito, M. and Hubner, J. (2017). Architecture of an institutional platform for multi-agent systems. *Principles and Practice of Multi-Agent Systems*, Nice, France, 313–329.
- De Pinninck, A. P., Sierra, C. and Schorlemmer, M. (2010), A multiagent network for peer norm enforcement. *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems* 21(3), 397–424.
- De Sousa Jabbour A.B.L., Jabbour C.J.C., Hingley M., Vilalta-Perdomo E.L., Ramsden G., and Twigg D. (2020), Sustainability of supply chains in the wake of the coronavirus (COVID-19/SARS-CoV-2) pandemic: lessons and trends. *Modern Supply Chain Research and Applications*. Vol. 2 No. 3, pp. 117-122.

-
- De Wilde, P. and Briscoe, G. (2011), Stability of evolving multi-agent systems. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics* 41(4), 1149–1157.
 - Decker, K., Sycara, K. & Williamson, M. (1997), Middle-Agents for the internet. *International Joint Conferences on Artificial Intelligence*, 578–583.
 - Demazeau Y., (1996), “Vowels”, Invited lecture, *1st Iberoamerican Workshop on Distributed Artificial Intelligence and Multi-Agent Systems*, 25–26 October 1996.
 - Dinverno, M, Fisher, M, Lomuscio, A, Luck, M, de Rijke, M, Ryan, M and Wooldridge, M, (1997). Formalisms for Multi-Agent Systems, *The Knowledge Engineering Review*, 12(3): 315–321.
 - Donald Ratliff, H. and William G. Nulty. (1996), Logistics Composite Modeling. *Georgia Tech Supply Chain and Logistics Institute*
 - Drogoul A., (1993), De la simulation multi-agent à la résolution collective de problèmes. Une étude de l’émergence de structures d’organisation dans les systèmes multi-agents. *Thèse de doctorat*, Université Paris 6.
 - Drogoul, A., Collinot, A. (1998), Applying an Agent-Oriented Methodology to the Design of Artificial Organizations: A Case Study in Robotic Soccer. *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems* 1, 113–129.
 - Duclos, L. K., Vokurka R. J., and Lummus. R. R. (2003), A Conceptual Model of Supply Chain Flexibility. *Industrial Management & Data Systems* 103 (6): 446–456.

E

- Elbaz, Jamal & Frei, Regina & Laguir, Issam. (2017). Exploring reverse supply chain practices of Moroccan companies. Sustainable Supply Chain and reverse logistics management: An empirical study in the Moroccan automotive sector. *Industrial Engineering and Operations Management*.

F

- *Ferber, Jacques. (1995). Les Systèmes multi-agents: vers une intelligence collective.*

-
- Florin G., (1985), Réseaux de Petri stochastiques, théorie et techniques de calcul, *Thèse d'état de l'Université de Pierre et Marie Curie, Paris VI.*

G

- F. Galasso (2007), Aide à la planification dans les chaînes logistiques en présence de demande flexible. *Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse.*
- Gan, K. S., Chin, K. O., Anthony, P. & Hamdan, A. R. (2017), A FIPA-ACL ontology in enhancing interoperability multiagent communication. In *International Conference on Computational Science and Technology*, 151–160. Springer.
- Gandhi S, Mangla SK, Kumar P, and Kumar D. A, (2016), combined approach using AHP and DEMATEL for evaluating success factors in implementation of GSCM in Indian manufacturing industries, *International Journal of Logistics Research and Applications*, 19(6):537–561.
- Ganeshan, R. and Harrison, T.P. (1995). An introduction to supply chain management.
- Garcia-Magarino I. and Gutiérrez C., (2013), Agent-oriented modeling and development of a system for crisis management, *Expert Systems with Applications*, vol.40, no.16, pp.6580–6592.
- Gavirneni, S., Kapuscinski, R., & Tayur, S. (1999). Value of information in capacitated supply chains. *Management Science*, 45(1), 16–24.
- Genin P., (2003), Planification tactique robuste avec usage d'une APS, *Thèse de Doctorat de l'Ecole des Mines de Paris.*
- Georgeff, M. P. and Lansky, A. L. (1987). Reactive reasoning and planning. *Proceedings of the Sixth National Conference on Artificial Intelligence*, pages 677-682.
- Ghadimi P., Toosi F.G., and Heavy C., (2018), A multi agent systems approach for sustainable supplier selection and order allocation in a partnership supply chain, *European Journal of Operational Research*, vol. 269, pp. 286-301, 2018.
- Giannakis, Mihalis and Michalis Louis, (2011), A multi-agent based framework for supply chain risk management.” *Journal of Purchasing and Supply Management* 17 : 23-31.

-
- Giret, D. Trentesaux, M.A. Salido, E. and Adam E., (2017), A holonic multi agent methodology to design sustainable intelligent manufacturing control systems, *Journal of cleaner production*, vol. 167, pp. 1370-1386.
 - Giusti, A., (2009), Review of waste management practices and their impact on human health *Waste Manage*, 29, pp. 2227-2239
 - González-Benito, J. and González-Benito, Ó. (2006), The role of stakeholder pressure and managerial values in the implementation of environmental logistics practices, *International Journal of Production Research*, Vol. 44, No. 7, pp. 1353-1373
 - Gottberg, Annika, Morris, Joe, Pollard, Simon, Mark-Herbert, Cecilia and Cook, Matthew. (2006), Producer responsibility, waste minimisation and the WEEE Directive: Case studies in eco-design from the European lighting sector. *The Science of the total environment*. 359. 38-56.
 - Green K., Morton, B., and New, S. (1996). Purchasing and environmental management: interactions, policies and opportunities. *Business Strategy and the Environment*, 5(3), 188-197.
 - Gupta N and Soni G (2021), A decision -making framework for sustainable supply chain finance in post -COVID era. *International Journal of Global Business and Competitiveness*, 16(1):29–38.

H

- Walker, H., Di Sisto L., and McBain D. Drivers and barriers to environmental supply chain management practices: lessons from the public and private sectors.
- Hammami R., Frein Y., and Hadj-Alouane A.B., (2008), Supply chain design in the delocalization context: Relevant features and new modeling tendencies. *International Journal of Production Economics*, 113:641–656.
- Handfield R., Walton S., Seegers L., and Melnyk S. (1997), The green value chain: practices from the furniture industry. *Journal of Operations Management*, 15(4): 293–315
- Hanna, M. D., Newman, W. R, and Johnson, P. (2000), Linking operational and environmental improvement through employee involvement, *International Journal of Operations & Production Management*, Vol.20, No.2, pp.148-165.

-
- Hassaine, S., Dhambri, K., Sahraoui, H. and Poulin P. (2009). Generating Visualization-based Analysis Scenarios from Maintenance Task Descriptions. *The 5th IEEE International Workshop on Visualizing Software for Understanding and Analysis*.
 - Hattab, S., Ben Hmida, F. and Lejouad Chaari, W. (2017), Using evolving graphs to evaluate structural openness in multi-agent systems. *Proceedings of the 19th International Conference on Enterprise Information Systems*, 591–598.
 - Hervani A.A., Helms M.M., and Sarkis J. (2005), Performance measurement for GSCM. *Benchmarking An International Journal*, 12 (4), pp. 330-353.
 - Hoekstra S., and Romme J.H.J.M., (1992), Integral Logistic Structures: Developing Customer Oriented Goods Flows, *McGraw-Hill*, London.
 - Hongwei He and Lloyd Harris, (2020), The impact of Covid-19 pandemic on corporate social responsibility and marketing philosophy, *Journal of Business Research*, vol. 116, issue C, 176-182.
 - Hoover and William Jr., (2001), Managing the Demand-Supply Chain: Value Innovations for Customer Satisfaction. *Howlett I., & Jain, L. C. (eds.)*, 296, 127–138. Springer.
 - Hsu, C.-C., Tan, K.-C. and Mohamad Zailani, S.H. (2016), Strategic orientations, sustainable supply chain initiatives, and reverse logistics: Empirical evidence from an emerging market, *International Journal of Operations and Production Management*, Vol. 36, No. 1, pp. 86-110
 - Huang, George Q. , Huang, and Jason S. K ,(2003), The impacts of sharing production information on supply chain dynamics : a review of the literature. *International Journal of Production Research*, Vol. 41, No 7, pp 1483-1517
 - Hyunh, T., Jennings, N. R. and Shadbolt, N. R. (2006), An integrated trust and reputation model for open multi-agent systems 13, 119–154

I

- Iglesias, C.A., Garijo, M., Gonzalez, J.C., and Velasco, J.R. (1998), Analysis and design of multi-agent systems using MAS-CommonKADS. *Intelligent Agents IV: Agent Theories, Architectures, and Languages*, Volume 1365, Springer-Verlag.

-
- Ikram M., Zhang Q., Sroufe R., Ferasso M., (2020), The social dimensions of corporate sustainability: an integrative framework including COVID-19 insights. *Sustainability*, 12(20):1–29.
 - Ivanov D., and Dolgui A., (2020), Viability of intertwined supply networks: extending the supply chain resilience angles towards survivability. A position paper motivated by COVID-19 outbreak. *International Journal of Production Research*, 58(10) :2904–2915.
 - Ivanov, Dmitry and Das, Ajay, (2020), Coronavirus (COVID-19/SARS-CoV-2) and supply chain resilience: a research note. *International Journal of Integrated Supply Management* 13.

J

- Jemai, Z., (2003), Modèles stochastiques pour l'aide au pilotage des chaînes logistiques : L'impact de la décentralisation, *Thèse de Doctorat, Laboratoire Génie Industriel, École Centrale Paris*
- Jennings, N.R. and Wooldridge, M.J., (1998), Applications of Intelligent Agents. Agent Technology: Foundations, Applications, and Markets (Eds.), Springer, pp. 3-28.
- Jia, F., Zuluaga-Cardona, L., Bailey, A., and Rueda, X. (2018), Sustainable supply chain management in developing countries: An analysis of the literature. *Journal of Cleaner Production*, 189(10), 263-278.
- Jia, Z. (2012), Planification décentralisée des activités de production et de transport : coordination par négociation, *Thèse de Doctorat, Université de Bordeaux I, France*.
- Jirkovsky, V. and Kadera, P. (2019), Data exchange ontology for interoperability facilitation within industrial automation domain. *International Conference on Industrial Applications of Holonic and Multi-Agent Systems*, 145–158. Springer.
- Jofré, Sergio and Tohru Morioka. (2005), Waste management of electric and electronic equipment: comparative analysis of end-of-life strategies. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 7: 24-32.
- Julien Francois, (2007), Planification des chaînes logistiques : modélisation du système décisionnel et performance. *Université Sciences et Technologies - Bordeaux I, France*.

-
- Jumadinova, J., Prithviraj, D. and Leen-Kiat, S. (2014), Strategic capability-learning for improved multi-agent collaboration in ad hoc environments. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems* 44,1003–1014.

K

- Govindan K., Soleimani H., Kannan D., (2015), Reverse logistics and closed-loop supply chain: a comprehensive review to explore the future, *European Journal of Operational Research*, 240 (3) , pp. 603-626
- Kanfert, J., Scharf, H., Edenhofer, S., TomForde, S., Hahner, J. and Muller-Schoeler, C. (2014), A graph analysis approach to detect attacks in multiagent systems at runtime. *IEEE Eighth International Conference on Self Adaptive and Self Organizing Systems*, London, UK.
- Karmaker C.L., Ahmed T., Ahmed S., Ali S.M., Muktadir M.A. and Kabir G. (2020), Improving supply chain sustainability in the context of COVID-19 pandemic in an emerging economy: exploring drivers using an integrated model. *Sustainable production and consumption*.
- Karuppiah K, Sankaranarayanan B, Ali SM, Paul SK. Key challenges to sustainable humanitarian supply chains: lessons from the covid-19 pandemic. *Sustainability (Switzerland)* 2021;13(11):1–20.
- Keršuliene V., Zavadskas E.K., Turskis Z., (2010), Selection of rational dispute resolution method by applying new stepwise weight assessment ratio analysis (Swara), *Journal of Business Economics and Management*, 11(2):243–258.
- Kilpatrick, J., and Barter, L. (2020), COVID-19: Managing Supply Chain Risk and Disruption.
- King, Andrew and Lenox, Michael, (2001), Does It Really Pay to Be Green? An Empirical Study of Firm Environmental and Financial Performance. *Journal of Industrial Ecology*. 5: 105 - 116.
- David Kinny, (1996), A semantics for inheritance in multi-agent systems. Technical Report 63, *Australian Artificial Intelligence Institute*, Melbourne, Australia.

-
- Kitazawa, Shinichi and Sarkis, Joseph, (2000), The Relationship Between ISO 14001 and Continuous Source Reduction Programs. *International Journal of Operations & Production Management*. 20 : 225 - 248.
 - Klassen, R.D., Vachon, S., (2003), Collaboration and evaluation in the supply chain: their impact on plant-level environmental investment. *Production and Operations Management*. 12 (3), 336
 - Kleijnen, J.P.C., (2005), Supply Chain Simulation tools and techniques: A Survey. *International Journal of Simulation and Process Modelling*, Vol. 1, Nos. 1/2, pp 82-89.
 - Koning J.L. and Pesty., S., (2001), Chapitre 3 - modèles de communication. Dans Principes et architecture des systèmes multi-agents, *éditeurs J.-P. Briot et Y. Demazeau*, pages 109–138. Hermès.
 - Kruger G.H., Shih A.J., Hattingh D.G., and van Niekerk T.I., (2011), Intelligent machine agent architecture for adaptive control optimization of manufacturing processes. *Advanced Engineering Informatics*, 25 (4), pp. 783-796.
 - Kumar D., (2019), Buyer-supplier relationship selection for a sustainable supply chain: a case of the Indian automobile industry. *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*, 11(2):215–227.

L

- La Londe, B.J., Masters, J.M., (1994), Emerging logistics strategies: blur print for the next century. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 24 (7), 35-47.
- Laari, S., Töyli, J., and Ojala, L., (2018). The effect of a competitive strategy and GSCM on the financial and environmental performance of logistics service providers. *Business Strategy and the Environment*, 27(7), 872–883.
- Lambert, D.M., Cooper, M.C. and Pagh, J.D., (1998), Supply Chain Management: Implementation Issues and Research Opportunities", *The International Journal of Logistics Management*, Vol. 9 No. 2, pp. 1-20.
- Langabeer, J., and Rose, J., (2001), Why the supply chain is past its sell-by date. *Financial Times*.

-
- Lash J., and Wellington F., (2007), Competitive advantage on a warming planet. *Harvard Business Review*, 85(3):94-102.
 - Lawson, B., Squire, P.D.C., Vachon, B. and Klassen, R.D., (2006), Extending green practices across the supply chain: the impact of upstream and downstream integration, *International Journal of Operations and Production Management*, Vol. 26, No. 7, pp. 795-821
 - Lee, M. D. P., (2008), A Review of the Theories of Corporate Social Responsibility: Its Evolutionary Path and the Road Ahead. *International Journal of Management Reviews*, 10, 53-73.
 - Li D., Huang M., Ren S., Chen X. and Ning L., (2016), Environmental legitimacy, green innovation, and corporate carbon disclosure: evidence from CDP China. *Journal of Business Ethics*.
 - Lin, R.J., (2013), Using fuzzy DEMATEL to evaluate the GSCM practices, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 40, pp. 32-39
 - Luck, M., McBurney, P. and Preist, C., (2003), Agent technology: enabling next generation computing (a roadmap for agent-based computing).

M

- Mahmoud, M. A., Ahmad, M. S., Mohd Yusoff, M. Z. and Mustapha, A., (2014), A review of norms and normative multiagent systems. *The Scientific World Journal*.
- Majumdar, A., Shaw, M., and Sinha, S. K., (2020), COVID-19 debunks the myth of socially sustainable supply chain: a case of the clothing industry in south asian countries. *Sustainable Production and Consumption*, 24, 150-155.
- Maria A., (1997), Introduction to modeling and simulation. *Proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference*.
- Massonet, P., Deville, Y. and Nve, C, (2002), From AOSE methodology to agent implementation. *Proceedings of the First International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems*, Italy, 27–34.
- Matthews N.E., Stamford L., and Shapira P., (2019), Aligning sustainability assessment with responsible research and innovation: Towards a framework for constructive sustainability assessment. *Sustainable Production and Consumption*, 20:58–73.

-
- Maxime, Ogier, (2013), Contributions à la Chaîne logistique numérique : conception de circuits courts et planification décentralisée. *Université de Grenoble*, Français.
 - Meixell, Mary and Luoma, Patrice. (2015). Stakeholder pressure in sustainable supply chain management: A systematic review. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*. 45. 69-89.
 - Melnyk, S.A., and Smith, R.T., (1996), Green Manufacturing. *Society for Manufacturing Engineering*, Dearborn, MI.
 - Mentzer, J.T., DeWitt, W., Keebler, J.S., Min, S., Nix, N.W., Smith, C.D., and Zacharia, Z.G., (2001), Defining supply chain management, *Journal of Business Logistics*, vol. 22, no. 2, pp. 1-25, 2001.
 - Milner, R. (2009), The Space and Motion of Communicating Agents. *Cambridge University Press*.
 - Min H., and Zhou G., (2002), Supply chain modeling: past, present and future. *Computers & Industrial Engineering*, 43, 2002, pp 231-249.
 - Min, H. and Galle, W.P., (2001), Green Purchasing Practices of U.S. Firms. *International Journal of Operations & Production Management*, 21, 1222-1238.
 - Mishra N., Kumar V. and Chan F.T.S., (2012), “A multi agent architecture for reverse logistics in a green supply chain, *International Journal of Production Research*, vol. 50, no. 9, pp.2396-2406.
 - Moktadir M.A., Ali S.M., Rajesh R., and Paul S.K., (2018), Modeling the interrelationships among barriers to sustainable supply chain management in leather industry. *Journal of Cleaner Production*, 181:631–651.
 - Morvan, G., Veremme, A., Dupont, D., and Jolly, D., (2009), Modélisation et conception multiniveau de systèmes complexes : stratégie d’agentification des organisations. *Journal Européen des Systèmes Automatisés*, 43(4-5) :381–406.
 - Müller J. P., Bauer B. and Berger M., (2002), Software Agents for Electronic Business: Opportunities and Challenges. *Mařík V. et al. (Eds.)*, pp. 61--106.

N

- Nawrocka, D., Brorson, T. and Lindhqvist, T. (2009), ISO 14001 in environmental supply chain practices, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 17, No. 16, pp. 1435-1443.

-
- New, S., Green, K., and Morton, B., (2002), An analysis of private versus public sector responses to the environmental challenges of the supply chain. *Journal of Public Procurement*, 2 (1), 93–105.
 - Ninlawan C., Seksan P., Tossapol K., and Pilada.W, (2010), The Implementation of GSCM Practices in Electronics Industry, *Proceedings of the International Multiconference of Engineers and computer scientists*, Vol 3.

P

- Pakdechoho N, and Sukhotu V., (2018), Sustainable supply chain collaboration: incentives in emerging economies. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 29(2):273–294.
- Patier, D., (2002), La logistique dans la ville. *Celse*.
- Petsch, M., (2002), Openness and security in the FIPA standard. *Proceedings of Middleware Application Interaction*, 2, 13–26.
- Pimor, Y., and Fender, M., (2008), Logistique: Production, Distribution, Soutien, *Edition 5.P* 45.
- Porter., E. and Van der Linde, C., (1995), Toward a New Conception of the Environment Competitiveness Relationship. *Journal of Economic Perspectives*, 9, 97-118.
- Porter and Michael E., (1985), Competitive Advantage. *The Free Press*. Ch. 1, pp 11-15
- Prajapati H., Kant R., and Shankar R., (2019), Prioritizing the solutions of reverse logistics implementation to mitigate its barriers: a hybrid modified SWARA and WASPAS approach. *Journal of Cleaner Production*, 240:118-219.
- Preuss, Lutz. (2005), *The Green Multiplier: A Study of Environmental Protection and the Supply Chain*.

Q

- Qiu, Y., D. Gu, H. Zhang, H. Tang, and Y. Cao., (2021), Two-Stage Matching Decision-Making Method in Medical Service Supply Chain, *International Journal of Logistics Research and Applications*.

-
- Rahmani, A., Ji, M. and Mesbahi, M., (2009), Controllability of multi-agent systems from a graph theoretic perspective. *SIAM Journal of Robust and Optimization*, 48(1), 162–186.
 - Rajahonka, M. and Bask, A., (2016), The development of outbound logistics services in the automotive industry: A logistics service provider’s view, *The International Journal of Logistics Management*, Vol. 27 No. 3, pp. 707–737.

R

- Rao S. and Georgeff M. P., (1991), Modeling rational agents within a BDI-architecture”, in *Proc.2nd Int.Conf.on Principles of Knowledge Representation and Reasoning*, pp. 473–484.
- Rao, P. and Holt, D., (2005), Do green supply chains lead to competitiveness and economic performance, *International Journal of Operations and Production Management*, Vol. 25, No. 9, pp. 898-91
- Remko, V.H. (2020), Research opportunities for a more resilient post-COVID-19 supply chain – closing the gap between research findings and industry practice, *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 40 No. 4, pp. 341-355.
- Rettab B., and Ben Brik A., (2008), Green supply chain in Dubai. *Dubai Chamber Centre for Responsible Business*, Dubai, UAE.
- Robert, P. (Ed.), (2001), *Le Petit Robert : dictionnaire alphabétique et analogique de là langue française*. Paris : Le Robert.

S

- Saghiri, S. and Hill, A., (2014), Supplier relationship impacts on postponement strategies, *International Journal of Production Research*, Vol. 52, No. 7, pp. 2134-2153
- Sarkis J., Cohen M.J., Dewick P., and Schr P., (2020), A Brave New World: Lessons from the COVID-19 Pandemic for Transitioning to Sustainable Supply and Production. *Resources, Conservation & Recycling*.
- Sarkis, J. (2003), A Strategic Decision Framework for GSCM. *Journal of Cleaner Production*, 11, 397-409.
- Savy M., 2006. *Logistique et territoire*. La Documentation française, Paris.

-
- Schmitt, A.J., Sun, S.A., Snyder, L.V., and Shen, ZJ. M. (2014), Centralization versus Decentralization: Risk Pooling, Risk Diversification, and Supply Chain Disruptions.
 - Schniederjans D.G., Curado C., Khalajhedayati M., (2020), Supply chain digitization trends: An integration of knowledge management. *International Journal of Production Economics*, 220.
 - Searle, J., (1969), *Speech Acts*. Cambridge University Press, Cambridge, UK
 - Sebai, A. H. & Chaari, W. L., (2014), CAUMEL: a temporal logic-based language for causal maps to explain agent behaviors. *Agent and Multi-Agent Systems: Technologies and Applications*.
 - Sehaba, K., (2002), Gestion de l'ouverture des systèmes multi-agents. *Mémoire de DEA*. Université de la Rochelle, France.
 - Sehory, O., (2001), Software architecture attributes of multi-agent systems. *Agent-Oriented Software Engineering*, 770–790. Springer
 - Seuring, Stefan and Müller, Martin, (2008), From a Literature Review to a Conceptual Framework for Sustainable Supply Chain Management. *Journal of Cleaner Production*, 16. 1699-1710.
 - Sharma, Sanjay, (2000), Managerial interpretations and organizational context as predictors of corporate choice of environmental strategy. *Academy of Management Journal*. 43. 681-697
 - Shaw, P., (1998), Using constraint programming and local search methods to solve vehicle routing problems. *Proceedings of the International Conference on Principles and Practice of Constraint Programming*, volume 1520, 417–431.
 - Sichman, J. S. and Demazeau, Y., (2001), On Social Reasoning in Multi-Agent Systems.
 - Singh R.K. and Modgil S., (2020), Supplier selection using SWARA and WASPAS – a case study of Indian cement industry, *Measuring Business Excellence*, 24(2):243–265
 - Spanoudakis, N., Akasiadis, C., Kechagias, G. and Chalkiadakis, G. (2019), An open MAS services architecture for the V2G/G2V problem. *Proceedings of the 18th International Conference on Autonomous Agents and MultiAgent Systems*. International Foundation for Autonomous Agents and Multiagent Systems.
 - Sreejith Balasubramanian, (2012), A Hierarchical Framework of Barriers to GSCM in the Construction Sector, *Journal of Sustainable Development* (Vol. 5), pp. 15-27.

-
- Srivastava, S.K., (2007), Green supply-chain management: A state of the art literature review, *International Journal Management Reviews*, 9(1): 53-80.
 - Srivastava, S.K. and Srivastava, R.K., (2006), Managing Product Returns for Reverse Logistics. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 36, 524-546.
 - Stadtler, Hartmut and Kilger, C., (2000), Supply chain management and advanced planning: concepts, models, software and case studies, *Publications of Darmstadt Technical University, Institute for Business Studies*.
 - Studer, S., Welford, R. and Hills, P., (2006), Engaging Hong Kong Businesses in environmental change: Drivers and Barriers, *Business Strategy and the Environment*, Vol. 15, No.6, pp.416-431.
 - Supply Chain Council (SCC). *Supply Chain Operations Reference (SCOR) Model: Overview version 10*.
 - Sycara K., (2003), a Case Study Software Engineering for LargeScale Multi-Agent Systems: Research Issues and Practical Applications. Garcia (Ed.), 2603 of *Lecture Notes in Computer Science Springer*, pp. 232-250

T

- Thomas D.J., Griffin P.M., (1996), Coordinated supply chain management. *European Journal of Operational Research*. 94, pp 1-15.
- Tixier, D, Mathe, H. and Colin, J., (1996), La logistique d'entreprise : vers un management plus compétitif, *Dunod, Paris*.
- Trowbridge, Philippe, (2001), A Case Study of Green Supply-Chain Management at Advanced Micro Devices. *Greener Management International*. 121-135.
- Tseng M.L., Islam M.S., Karia N., and Fauzi, S., (2019), A literature review on GSCM: trends and future challenges. *Resources, Conservation and Recycling*, 141, pp. 145-162
- Tseng, M.-L., Divinagracia, L. and Shi, L., (2011), Achieving green outsourcing performance in uncertainty, *African Journal of Business Management*, Vol. 5, No. 14, pp. 5946

V

- Valckenaers, P., Sauter, J., Sierra, C. and Rodriguez-Aguilar, J. A., (2007), Applications and environments for multiagent systems. *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, 61–85.
- Venkat, Kumar and Wakeland, Wayne, (2006), Is Lean Necessarily Green?. *50th Annual Meeting of the International Society for the Systems Sciences*, ISSS.1.
- Viana, M., Caetano, L., Cunha, F., Alencar, P. and Lucena, C, (2018), Governance in adaptive normative multiagent systems for the internet of smart things: challenges and future directions. *IEEE International Conference on Big Data (Big Data)*, 5193–5196. IEEE.
- Vijay Kumar Sharma, Pankaj Chandna, and Arvind Bhardwaj,(2017), GSCM related performance indicators in agro industry: A review, *Journal of Cleaner Production*, Vol 141,pp 1194-1208.
- Von Cieminski, Gregor and Nyhuis, Peter, (2007), Modeling and analyzing logistic interdependencies in industrial-enterprise logistics. *Production Engineering*.
- Vredenburg, H. and Westley, F., (1993), Environmental leadership in three contexts: Managing for global competitiveness. *Proceeding for the International Association of business and Society*, pp. 495-500.

W

- Wackermann, G., (2005), La logistique mondiale: Transport et Communication, *Ellipses, Paris, p 430*.
- Walker, H., Di Sisto, L. and McBain, D., (2008), Drivers and barriers to environmental supply chain management practices: Lessons from the public and private sectors, *Journal of Purchasing and Supply Management*, Vol. 14, No. 1, pp. 69-85
- Weiss, G. (Ed.), (1999), *Multiagent Systems*. Cambridge: MIT Press.
- Weyns, D, (2010), *Architecture-Based Design of Multi-Agent Systems*. Springer Science & Business Media.
- Weyns, D., Michel, F., Van Dyke Parunak, H., Boissier, O., Schumacher, M. and Ricci, A, (2015), Agent environments for multi-agent systems – A Research roadmap. *Agent Environments for Multi-Agent Systems IV*, 3–21. Springer.

-
- Wieland, Andreas, Handfield, Robert and Durach, Christian, (2016), Mapping the Landscape of Future Research Themes in Supply Chain Management. *Journal of Business Logistics*. 37.
 - Wisner, J.D., Tan, K.C. and Leong, G.K., (2016), Principles of supply chain management: A balanced approach, 4th edition., *Cengage Learning, Boston, MA*.
 - Wooldridge M. and N. R. Jennings, (1995), editors, Intelligent Agents: Theories, Architectures, and Languages. *Springer-Verlag: Berlin, Germany*, pp. 203–218.

X

- Xiao, T. et Xu, T., (2013), Coordinating price and service level decisions for a supply chain with deteriorating item under vendor managed inventory, *International Journal of Production Economics*, 145(2), 743-752
- Xu, H., Zhang, X. and Patel, R. J., (2007), Developing role-based open multi-agent software systems. *International Journal of Computational Intelligence Theory and Practice*. 2(1).

Z

- Zaki, A., Attia, M., Hegazy, D. and Amin, S., (2016), Comprehensive survey dynamic graph models. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications* 7(2), 573–582.
- Zavadskas EK, Stević Ž, Tanackov I, and Prentkovskis O., (2018), A novel multicriteria approach—rough stepwise weight assessment ratio analysis method (R-SWARA) and its application in logistics. *Studies in Informatics and Control*. 27(1):97–106.
- Zegzhda, D. P., Stephanora, T. V. and Suprun, A. F., (2018), Multiagent systems controllability evaluation using the multilevel structure of the graph agents. *Automatic Control and Computer Sciences* 50(8), 809–812.
- Zhu Q., Sarkis J., and Lai K.H., (2008), GSCM implications for closing the loop. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 44 (1), pp. 1-18.
- Zhu, Q. and Geng, Y., (2001), Integrating Environmental Issues into Supplier Selection and Management. *Greener Management International*, 35, 27-40.

-
- Zhu, Qinghua and Sarkis, Joseph., (2004), Relationships Between Operational Practices and Performance Among Early Adopters of GSCM Practices in Chinese Manufacturing Enterprises. *Journal of Operations Management*. 22:265-289.
 - Zhu, Qinghua and Sarkis, Joseph., (2006), An inter-sectoral comparison of GSCM in China: Drivers and practices. *Journal of Cleaner Production*, 14.
 - Zimon D., Tyan J., and Sroufe R., (2020), Drivers of sustainable supply chain management: practices to alignment with unsustainable development goals. *International Journal for Quality Research*, 14(1)
 - Zsidisin, G.A. and Siferd, S.P., (2001), Environmental Purchasing: A Framework for Theory Development. *European Journal of Purchasing & Supply Management*, 7, 61-73.

Annexe 1 : Programme JAVA

Customer Agent

```
package agents;
import org.apache.xmlbeans.impl.values.XmlValueOutOfRangeException;
import jade.core.AID;
import jade.core.Agent;
import jade.core.behaviours.Behaviour;
import jade.core.behaviours.CyclicBehaviour;
import jade.core.behaviours.OneShotBehaviour;
import jade.core.behaviours.ParallelBehaviour;
import jade.lang.acl.ACLMessage;
public class CusAgent extends Agent {
    ExcelReader excelR=new ExcelReader();
    @Override
    protected void setup() {
        // TODO Auto-generated method stub
        System.out.println("Customer Agent is created");
        ACLMessage m1=new ACLMessage(ACLMessage.CFP);
        m1.setContent("Call for proposal");
        m1.addReceiver(new AID("DistrAgent",AID.ISLOCALNAME));
        m1.addReceiver(new AID("Distr1Agent",AID.ISLOCALNAME));
        send(m1);
        System.out.println(m1.getContent());
    }
    addBehaviour(new CyclicBehaviour() {
        @Override
        public void action() {
            // TODO Auto-generated method stub
            ACLMessage m2=receive();
            if(m2!=null) {
                System.out.println("m2 is received");
                if(excelR.getbeginTCDA()<excelR.getmaxTCCA()) {
```

```

        ACLMessage m3=new
ACLMessage(ACLMessage.ACCEPT_PROPOSAL);
        m3.setContent(m2.getContent());
        m3.addReceiver(new
AID("DistrAgent",AID.ISLOCALNAME));
        send(m3);
        System.out.println("Accept proposal");
        System.out.println("final cost is"+""+m3.getContent());
    }
    else {
        ACLMessage m3=new
ACLMessage(ACLMessage.PROPOSE);
        m3.setContent(String.valueOf(excelR.getmaxTCCA()));
        m3.addReceiver(new
AID("DistrAgent",AID.ISLOCALNAME));
        send(m3);
        System.out.println("new proposal");
        System.out.println("m3 is sent"+""+m3.getContent());
    }
    else block();
}
});
}
}

```

```

DisAgent
package agents;
import jade.core.AID;
import jade.core.Agent;
import jade.core.behaviours.CyclicBehaviour;
import jade.core.behaviours.OneShotBehaviour;
import jade.core.behaviours.ParallelBehaviour;

```

```

import jade.domain.introspection.AddedBehaviour;
import jade.lang.acl.ACLMessage;

public class DistrAgent extends Agent {
    ExcelReader excelR=new ExcelReader();
    @Override
    protected void setup() {

        addBehaviour(new CyclicBehaviour() {

            @Override
            public void action() {
                // TODO Auto-generated method stub

                ACLMessage m1=receive();
                if(m1!=null) {
                    if(excelR.getbeginTCDA()<excelR.getminTCDA()) {
                        ACLMessage m2=new
ACLMessage(ACLMessage.INFORM);
                        m2.addReceiver(new
AID("CusAgent",AID.ISLOCALNAME));

                        m2.setContent(String.valueOf(excelR.getminTCDA()));
                        send(m2);
                        System.out.println("Distr Offer
is"+""+m2.getContent());}
                    else { ACLMessage m2=new
ACLMessage(ACLMessage.INFORM);
                        m2.addReceiver(new
AID("CusAgent",AID.ISLOCALNAME));
                        m2.setContent(String.valueOf(excelR.getbeginTCDA()));

```

```

        send(m2);
        System.out.println("Distr Offer is"+""+m2.getContent());}
    else {block();
        System.out.println("msg1 not received");
    }}
});
addBehaviour(new CyclicBehaviour() {
    @Override
    public void action() {
        // TODO Auto-generated method stub
        ACLMessage m3=receive();
        if(m3!=null) {
            // Double.parseDouble(m3.getContent())
            if(excelR.getbeginTCDA()==excelR.getmaxTCCA()) {
                if(excelR.MOQDA(<excelR.Qty()*excelR.y() &&
excelR.Qty()*excelR.y(<excelR.MOQCA()){
                    double
newTCDA=(Math.min(excelR.getbeginTCDA(),
excelR.getminTCDA())/excelR.Qty()*excelR.Qty()*excelR.y());
                    ACLMessage m4=new
ACLMessage(ACLMessage.INFORM);
                    m4.addReceiver(new
AID("CusAgent",AID.ISLOCALNAME));

                    m4.setContent(String.valueOf(newTCDA));

                    send(m4);
                    System.out.println(m4.getContent());
                }
            } else {
                ACLMessage m4=new
ACLMessage(ACLMessage.REFUSE);

```

```

        m4.addReceiver(new
AID("CusAgent",AID.ISLOCALNAME));
        m4.setContent("Qty adjustment is not
possible");
        send(m4);
        System.out.println(m4.getContent());
    }
}
else {
    ACLMessage m4=new
ACLMessage(ACLMessage.INFORM);
        m4.addReceiver(new
AID("CusAgent",AID.ISLOCALNAME));
        m4.setContent("Thank you");
        send(m4);
        System.out.println(m4.getContent());
    }
}
else {block();
    System.out.println("msg3 not received");
}
}
});
}}

```

Excel reader

```

package agents;
import java.io.FileInputStream;
import java.io.FileNotFoundException;
import java.io.IOException;
import org.apache.poi.xssf.usermodel.XSSFCell;
import org.apache.poi.xssf.usermodel.XSSFSheet;

```

```

import org.apache.poi.xssf.usermodel.XSSFWorkbook
//
public class ExcelReader {
    XSSFWorkbook wb=new XSSFWorkbook();
    public ExcelReader() {
        try {
            wb=new XSSFWorkbook(new
FileInputStream("C:\\Users\\Mohamed\\Downloads\\nouveau fichier.xlsx"));
        } catch (FileNotFoundException e) {
            // TODO Auto-generated catch block
            e.printStackTrace();
        } catch (IOException e) {
            // TODO Auto-generated catch block
            e.printStackTrace();
        }
    }
    public double getbeginTCDA(){
        XSSFSheet sh=wb.getSheet("Sheet1");
        //Get cell
        XSSFCell beginTCDA=sh.getRow(2).getCell(9);
        return beginTCDA.getNumericCellValue();
    }
    public double geminTCDA(){
        XSSFSheet sh=wb.getSheet("Sheet1");
        //Get cell
        XSSFCell minTCDA=sh.getRow(3).getCell(9);
        return minTCDA.getNumericCellValue();
    }
    public double geminTCDA1(){
        XSSFSheet sh=wb.getSheet("Sheet1");
        //Get cell

```

```
XSSFCell minTCDA1=sh.getRow(5).getCell(9);
return minTCDA1.getNumericCellValue();
}
public double getmaxTCCA(){
XSSFSheet sh=wb.getSheet("Sheet1");
//Get cell
XSSFCell maxTCCA=sh.getRow(4).getCell(9);
return maxTCCA.getNumericCellValue();
}
public double Qty() {
double qty=16;
return qty;
}
public double MOQCA() {
double MOQCA=19;
return MOQCA;
}
public double MOQDA() {
double MOQDA=13;

return MOQDA;
}
public double y() {
double y=0.99;

return y;
}
public double unitbeginTCDA() {
double unitbeginTCDA=getbeginTCDA()/Qty();

return unitbeginTCDA;
```

```

    }
    public double unitminTCDA() {
        double unitminTCDA=getbeginTCDA()/Qty();

        return unitminTCDA;
    }
    public double getminTCDA(){
        XSSFSheet sh=wb.getSheet("Sheet1");
        //Get cell
        XSSFCell minTCDA=sh.getRow(3).getCell(9);
        return minTCDA.getNumericCellValue();
    }
    public static void main(String[] args) throws Exception {
        ExcelReader excelR=new ExcelReader();
        System.out.println(excelR.getbeginTCDA());
        System.out.println(excelR.unitbeginTCDA());
        System.out.println(excelR.getmaxTCCA());
    }
}

```

M container

```

package containerss;
import jade.core.ProfileImpl;
import jade.core.Runtime;
import jade.wrapper.AgentContainer;
import jade.wrapper.ControllerException;

public class Mcontainer {
    public static void main(String[] args) throws Exception {
        Runtime runtime=Runtime.instance();
        ProfileImpl profile=new ProfileImpl();
        profile.setParameter(ProfileImpl.GUI, "true");
    }
}

```

```

    AgentContainer main=runtime.createMainContainer(profile);
    main.start();
    }
}

Cus container
package containerss;
import jade.core.ProfileImpl;
import jade.core.Runtime;
import jade.wrapper.AgentContainer;
import jade.wrapper.AgentController;
import jade.wrapper.ControllerException;
public class CustomerConatiner {
    public static void main(String[] args) throws Exception {
        Runtime runtime=Runtime.instance();
        ProfileImpl profile=new ProfileImpl();
        profile.setParameter(ProfileImpl.MAIN_HOST, "localhost");
        AgentContainer container=runtime.createAgentContainer(profile);
        AgentController agentController=container.createNewAgent("CusAgent",
"agents.CusAgent", new Object[] {});
        agentController.start();
    }
}

Dis Container
package containerss;
import jade.core.ProfileImpl;
import jade.core.Runtime;
import jade.wrapper.AgentContainer;
import jade.wrapper.AgentController;
import jade.wrapper.ControllerException;
public class DistributorConatiner {
    public static void main (String[] args) throws Exception {

```

```
    Runtime runtime=Runtime.instance();
    ProfileImpl profile=new ProfileImpl();
profile.setParameter(ProfileImpl.MAIN_HOST, "localhost");
AgentContainer container=runtime.createAgentContainer(profile);
AgentController agentController=container.createNewAgent("DistrAgent",
"agents.DistrAgent", new Object[] {});
    agentController.start();
    }
}
```


Annexe 2 : Résultats de la méthode SWARA

Tableau 32. *Résultats de la méthode SWARA selon les critères principaux*

Expert	Critere	sj	kj	qj	wj
Expert 1	1		1	1	0,35
	2	0,4	1,4	0,71	0,25
	4	0,15	1,15	0,62	0,22
	3	0,2	1,2	0,52	0,18
Expert 2	1		1	1,00	0,33
	3	0,35	1,35	0,74	0,24
	2	0,05	1,05	0,71	0,23
	4	0,2	1,2	0,59	0,19
Expert 3	2		1	1,00	0,43
	1	0,6	1,6	0,63	0,27
	3	0,5	1,5	0,42	0,18
	4	0,4	1,4	0,30	0,13
Expert 4	1		1	1,00	0,44
	3	0,7	1,7	0,59	0,26
	4	0,6	1,6	0,37	0,16
	2	0,15	1,15	0,32	0,14
Expert 5	1		1	1,00	0,35
	4	0,35	1,35	0,74	0,26
	2	0,25	1,25	0,59	0,21
	3	0,2	1,2	0,49	0,17
Expert 6	3		1	1,00	0,36
	4	0,4	1,4	0,71	0,26
	2	0,05	1,05	0,68	0,24
	1	0,7	1,7	0,40	0,14
Expert 7	1		1	1,00	0,44
	4	0,8	1,8	0,56	0,24
	3	0,3	1,3	0,43	0,19
	2	0,4	1,4	0,31	0,13
Expert 8	4		1	1,00	0,32
	1	0,15	1,15	0,87	0,28
	2	0,35	1,35	0,64	0,21
	3	0,1	1,1	0,59	0,19
Expert 9	3		1	1,00	0,41
	1	0,45	1,45	0,69	0,28
	2	0,55	1,55	0,44	0,18
	4	0,35	1,35	0,33	0,13
Expert 10	4		1	1,00	0,38
	1	0,25	1,25	0,80	0,30
	3	0,75	1,75	0,46	0,17
	2	0,15	1,15	0,40	0,15

Tableau 33. Résultats de la méthode SWARA selon les sous critères

Expert	Critere	Sous critere	sj	kj	wj	qj
Expert 1	1	1-1		1	1	0,34
	1	1-2	0,9	1,9	0,53	0,18
	2	2-1		1	1	0,6
	2	2-2	0,5	1,5	0,66	0,4
	3	3-1		1	1,00	0,66
	3	3-2	0,95	1,95	0,51	0,34
	4	4-1		1	1	0,62
	4	4-2	0,7	1,7	0,58	0,37
Expert 2	1	1-1		1	1	0,34
	1	1-2	0,8	1,8	0,56	0,19
	2	2-1		1	1	0,6
	2	2-2	0,4	1,4	0,71	0,42
	3	3-1		1	1,00	0,66
	3	3-2	0,75	1,75	0,57	0,38
	4	4-1		1	1	0,62
	4	4-2	0,55	1,55	0,64	0,40
Expert 3	1	1-1		1	1	0,34
	1	1-2	0,6	1,6	0,63	0,22
	2	2-1		1	1	0,6
	2	2-2	0,75	1,75	0,57	0,34
	3	3-1		1	1,00	0,66
	3	3-2	0,4	1,4	0,71	0,47
	4	4-1		1	1	0,62
	4	4-2	0,55	1,55	0,64	0,40
Expert 4	1	1-1		1	1	0,34
	1	1-2	0,85	1,85	0,54	0,19
	2	2-1		1	1	0,6
	2	2-2	0,75	1,75	0,57	0,34
	3	3-1		1	1,00	0,66
	3	3-2	0,5	1,5	0,67	0,44
	4	4-1		1	1	0,62
	4	4-2	0,65	1,65	0,60	0,38
Expert 5	1	1-1		1	1	0,34
	1	1-2	0,3	1,3	0,77	0,27
	2	2-1		1	1	0,6
	2	2-2	0,2	1,2	0,83	0,5
	3	3-1		1	1,00	0,66
	3	3-2	0,4	1,4	0,71	0,47
	4	4-1		1	1	0,62
	4	4-2	0,2	1,2	0,83	0,52
Expert 6	1	1-1		1	1	0,34
	1	1-2	0,95	1,95	0,51	0,18

	2	2-1		1	1	0,6
	2	2-2	0,9	1,9	0,52	0,31
	3	3-1		1	1,00	0,66
	3	3-2	0,85	1,85	0,54	0,36
	4	4-1		1	1	0,62
	4	4-2	0,6	1,6	0,625	0,39
Expert 7	1	1-1		1	1	0,34
	1	1-2	0,35	1,35	0,74	0,26
	2	2-1		1	1	0,6
	2	2-2	0,45	1,45	0,68	0,41
	3	3-1		1	1,00	0,66
	3	3-2	0,85	1,85	0,54	0,36
	4	4-1		1	1	0,62
	4	4-2	0,7	1,7	0,58	0,37
Expert 8	1	1-1		1	1	0,34
	1	1-2	0,65	1,65	0,61	0,21
	2	2-1		1	1	0,6
	2	2-2	0,85	1,85	0,54	0,32
	3	3-1		1	1,00	0,66
	3	3-2	0,75	1,75	0,57	0,38
	4	4-1		1	1	0,62
	4	4-2	0,85	1,85	0,54	0,34
Expert 9	1	1-1		1	1	0,34
	1	1-2	0,85	1,85	0,54	0,19
	2	2-1		1	1	0,6
	2	2-2	0,8	1,8	0,55	0,33
	3	3-1		1	1,00	0,66
	3	3-2	0,75	1,75	0,57	0,38
	4	4-1		1	1	0,62
	4	4-2	0,85	1,85	0,54	0,34
Expert 10	1	1-1		1	1	0,34
	1	1-2	0,65	1,65	0,61	0,21
	2	2-1		1	1	0,6
	2	2-2	0,45	1,45	0,68	0,41
	3	3-1		1	1,00	0,66
	3	3-2	0,75	1,75	0,57	0,38
	4	4-1		1	1	0,62
	4	4-2	0,8	1,8	0,55	0,34