

ANALYSE ET MODELISATION DE LA CHAINE AGRUMICOLE MAROCAINE BASEE SUR LE SYSTEME MULTI-AGENTS ET INDICATEURS DE PERFORMANCE: PLANIFICATION REACTIVE ET ROBUSTE

Hind MOUTAOAKIL* & Hicham JAMOULI**

Résumé. – Dans le cadre de l'amélioration des services adressés aux divers clients dans toutes les zones de production marocaines, les groupes marocains d'exportation de fruits et légumes en collaboration avec leurs unités d'emballage et leurs producteurs ont tendance à coopérer entre eux afin de faire face à une compétitivité internationale. En effet, la complexité grandissante des réseaux de partenaires a poussé les décideurs de mettre en place des techniques et des outils contribuant à la maîtrise des différents processus. Pour cela, la mise en place d'un suivi permanent des divers opérations allant de la production, l'emballage, jusqu'à la distribution des produits périssables est devenue primordiale. Cet article vise à proposer une modélisation multi-agents de la chaîne logistique agrumicole basée sur des indicateurs de suivi et d'évaluation de performance de ses systèmes logistiques. Ceci dans le but de construire une nouvelle chaîne autonome, robuste et réactive, permettant ainsi d'optimiser et contrôler le flux des matières et d'informations entre les différents acteurs et intervenants de la chaîne. L'article se présente selon quatre axes majeurs : d'abord une revue littérature résumant les différents modèles existants pour la modélisation des chaînes logistiques. Ensuite, une présentation du principe de la modélisation distribuée basée sur le système multi-agents et son application sur notre étude de cas. Au niveau du troisième axe, nous avons projeté le principe du modèle choisi sur la chaîne agrumicole marocaine. Enfin, nous avons proposé un modèle décisionnel basé sur une architecture mixte permettant une chaîne réactive et robuste par rapport aux perturbations et aux incertitudes..

Mots clés : agrumes, Chaîne logistique, SCOR, Système multi-agents, Processus, Indicateurs de performance.

• Doctorante, Univ. Ibn Zohr, Ecole Nationales des Sciences Appliquées d'Agadir Laboratoire LGII, BPI 136, Code postale 80000, Agadir - Maroc, hind.moutaoakil@gmail.com

** Professeur Habilité, Univ. Ibn Zohr, Ecole Nationales des Sciences Appliquées d'Agadir Laboratoire LGII, BPI 136, Code postale 80000, Agadir - Maroc, h.jamouli@uiz.ac.ma

1. Introduction & état de l'art

La communication, la coordination et la collaboration entre les différents acteurs d'une chaîne logistique deviennent un enjeu économique essentiel pour les entreprises mais aussi un sérieux avantage concurrentiel. La chaîne logistique est un macro-système complexe dû à plusieurs facteurs : la nature des structures organisationnelles intervenantes et des relations existantes entre elles ; la décentralisation de décisions stratégiques et la délocalisation des différentes tâches liées à la production. (Lizarrage et al, 2005), (Lulien P.A., 1997)

La gestion d'une chaîne logistique se base sur le pilotage de ses processus et sa performance dépend de la pertinence des décisions stratégiques, tactiques ou opérationnelles prises au niveau de chacun des processus identifiés. Cette performance est mesurée à l'aide d'indicateurs interconnectés et reflétant l'impact de différentes actions menées le long de la chaîne logistique.

Il existe plusieurs travaux dans la littérature abordant la problématique de la modélisation des chaînes logistiques complexes (Porter, 1990), (Gilmour, 1999). Le point commun entre ces différents travaux est de trouver une représentation meilleure permettant de refléter les différentes relations entre l'ensemble des flux de la chaîne. Les modèles développés doivent prendre en compte les données statiques dynamiques, réactives (Bharbi, 2012), incertaines et aléatoires (Ruel, 2014) pour obtenir un modèle parfait, chose qui reste difficile à atteindre.

D'autre part, la complexité de la chaîne se traduit par le nombre important de ses acteurs et intervenants ainsi que la diversité de ses flux, nécessitant sa décomposition en sous-chaînes réduites dans le but de faciliter l'analyse de ses paramètres.

1.1 La modélisation de la chaîne logistique

En matière de logistique, les entreprises se soucient de la mise en place, de la mesure et de l'amélioration des performances de leurs chaînes logistiques. De certaines contributions particulièrement importantes constituent des modèles de référence pour toute approche de conception, de mise en place, de mesure et d'amélioration des performances de la chaîne logistique. Il s'agit des modèles de Porter, Gilmour, Cooper et des référentiels SCOR, ASLOG et EVALOG.

Porter, développe en 1986 dans « l'avantage concurrentiel » (Porter, 1990) des concepts de stratégie générique qui sont aujourd'hui une référence dans le domaine de la stratégie.

Complétant les contributions précédentes, Porter a également publié « Choix stratégiques et concurrence » au sein duquel il expose la notion d' « avantage concurrentiel ». Les travaux de Porter, sont intéressants, ils proposent une description de la chaîne de valeur. Cet instrument d'analyse proposé par Porter constitue une approche pertinente de la chaîne logistique se focalisant sur la valeur ajoutée apportée par les différentes activités.

Gilmour (Gilmour, 1999) propose un cadre d'audit stratégique pour l'amélioration de la performance de la chaîne logistique.

Pour cela, il construit une grille de caractérisation définie par le croisement et l'application de 11 compétences à mettre en œuvre pour la maîtrise de la chaîne logistique sur cinq dimensions caractérisant la maîtrise de la chaîne logistique.

Cooper (Cooper et al, 1997) a proposé un référentiel qui guide le pilotage et la re-conception des chaînes logistiques étendues et qui est basé sur trois éléments : les processus décrivant les activités créant de la valeur pour le client, les composants de pilotage de ces processus et la structure du réseau physique des différentes entreprises constituant la chaîne.

Le modèle SCOR (Tambade, 2010), Supply Chain Operations Reference, est un modèle de référence initialisé en 1996 par le Supply Chain Council ayant pour objectif de définir un guide standard pour les entreprises. Il comprend une description de processus type, une trame de liaisons entre ceux-ci, des indicateurs de performance standard ainsi que l'identification des meilleures pratiques associées.

Le modèle remplace la chaîne logistique interne de l'entreprise au sein de la chaîne logistique étendue avec clients et fournisseurs. Il identifie cinq processus de niveau I: Planifier, Approvisionner, Fabriquer, Retour, un processus supplémentaire est introduit par le modèle SCOR : il s'agit du processus « Enable ». Il représente les activités supports à la gestion de la chaîne logistique. Ce processus est scindé en plusieurs sous processus « Enable » planifier, approvisionner, fabriquer et distribuer.

L'ASLOG (Fournet, 2006) (Association Française pour la Logistique) a bâti un référentiel logistique en se basant sur celui mis au point par VOLVO dans les années 1990. Ce dernier a été amélioré et constitue à ce jour une base de référence intéressante pour juger de la pertinence d'un système logistique. Le Référentiel logistique de l'ASLOG a pour vocation d'aider les entreprises à améliorer leurs performances logistiques. C'est un catalogue de mesures et d'actions de progrès de l'entreprise qui reste toutefois seule juge des actions de progrès à déployer.

EVALOG (Cousin, 2006) est un référentiel mondial standard pour l'évaluation logistique destiné à l'industrie automobile. Il est l'aboutissement d'une collaboration entre GALIA, Odette« International Limited » et « l'Automotive Industry Action Group (AIAG) ». S'appuyant sur le référentiel Odette « Logistics Evaluation (OLE)» et le « Materials Management Operations Guidelines (MMOG) », utilisés respectivement en Europe et aux Etats-Unis. Il permet l'auto-évaluation ou l'audit logistique des sites partenaires (usines, fournisseurs) sous la forme d'un questionnaire et le calcul d'un score. Il sélectionne et propose, selon les réponses, des -bonnes pratiques-.

1.2 Comparaison des modèles logistiques existants

Nous avons décrit successivement les modèles de Porter, SCOR, Gilmour et Cooper. Dans le but d'évaluer leur contribution dans le cadre de la méthodologie de diagnostic de la chaîne logistique, nous proposons de comparer leurs visions par la réalisation d'un tableau de synthèse (Valla, 2008).

Les points de comparaison doivent correspondre à des critères de pertinence vis-à-vis d'une problématique de diagnostic. Ils sont les suivants:

- Nombre et nature des processus identifiés. Trois types de processus sont identifiés : les processus « opérationnels » qui représentent la circulation des produits le long de la chaîne. Sont également identifiés les processus relatifs au pilotage (flux de décision et information) ainsi que des processus support décrivant les activités supports de l'entreprise. Le

critère « nature des processus identifiés » permet une homogénéité des éléments proposés dans les différents modèles ;

- Niveau de détail des processus décrits;
- Méthodologie d'analyse : identifie la proposition de méthode d'analyse associée au modèle ;
- Outils support. Il s'agit d'outils support qui peuvent être utilisés pour détecter les dysfonctionnements et analyser la performance;
- Meilleures pratiques identifiées par les modèles.

Le tableau 1 résume les différents points d'intersection entre les différents modèles existants.

CRITÈRES	PORTER	SCOR	GILMOUR	COOPER	EVALOG	ASLOG
Domaine d'application	Général	Général	Général	Général	Industrie automobile	Général
Nombre de Relatifs au flux physique	5	3	3	0	3	5
Processus Relatifs au pilotage	0	2	3	8	2	3
Relatifs aux activités Support	4	1	5	0	1	2
TOTAL	9	6	11	8	6	10
Niveau de détail des processus	Processus	Description détaillée des activités	Processus	Processus	Desaïption détaillée des activités	Desaïption détaillée des activités
Outils supports	Chaîne de valeur	Grilles d'évaluations Indicateurs de performances	Grille de caractérisation	Étapes de desaïption du réseau et identification des acteurs	Questionnaire des bonnes pratiques par activité	Questionnaire des bonnes pratiques par activité
Meilleures pratiques identifiées par les modèles		Meilleures pratiques par élément de processus Indicateurs de performance par élément de processus	Bcnchmark des profils issus de la grille de caractérisation	Composants de pilotage identifiés		

Tableau 1 : Synthèse et comparaison des différents modèles existants.

Les référentiels étudiés dans le tableau 1, montrent globalement une différence de typologie entre les différents processus constituant la chaîne logistique : processus physique ou d'information / décision. Les différentes visions montrent également l'intérêt d'une considération globale et transversale des flux. La comparaison plus détaillée des modèles au sein du tableau de synthèse présenté au niveau de la figure 1 permet de tirer quelques conclusions :

- Le modèle SCOR est une référence beaucoup plus précise que les autres modèles. La description des processus opérationnels est détaillée, documentée et des bonnes pratiques identifiées. Les processus de pilotage sont très orientés fonctions (planification, retour) et mettent peu en avant la transversalité du pilotage de la chaîne logistique. La notion d'orientation ou de service clients n'est pas mise en avant dans ce modèle.
- Les modèles de Cooper et Gilmour apportent une vision transversale très intéressante au niveau du pilotage de la chaîne logistique. La proposition de description des processus de Cooper et la grille de caractérisation de Gilmour sont, en particulier, des contributions fortes.
- L'identification des activités clefs de l'entreprise utilisant la chaîne de valeur de Porter représente un apport intéressant pour le diagnostic de la chaîne logistique. Elle focalise son attention sur la valeur ajoutée par les différentes activités.

Dans notre étude, nous avons utilisé dans un premier temps le modèle SCOR qui a pour objectif majeur de constituer une vision globale sur l'ensemble de la Supply Chain en facilitant la représentation des flux physiques, informationnels et financiers allant du fournisseur du fournisseur au client du client.

1.3 Méthodologie

On propose une méthode pour la mesure de la performance d'une chaîne logistique basée sur l'approche processus et multi-agents. Cette méthode présente un formalisme clair et précis pour la modélisation de la chaîne, qui consiste à la découper en processus puis en agent. Elle préconise ensuite une approche d'identification des indicateurs de performance guidée par ce découpage. Cette approche permet de décliner la vision stratégique du projet de mesure de la performance sur tous les niveaux de la chaîne pour identifier les indicateurs permettant de contrôler le degré de participation de chaque niveau à la réalisation de cette vision. La méthode est illustrée à travers des exemples tirés d'un cas agroalimentaire, consistant à mesurer la performance de la chaîne logistique agrumicole marocaine.

Notre étude commence par la modélisation de la chaîne agrumicole en se basant sur le modèle SCOR et ce afin d'identifier ses acteurs et d'évaluer leurs contributions, faciliter la prise de décision et améliorer son fonctionnement.

Ensuite, notre modèle va être amélioré par l'intégration d'un système composé d'un ensemble d'agents situés dans un certain environnement et interagissant selon certaines relations. A cet effet, nous proposons de s'inspirer de l'approche multi-agents.

Enfin, nous allons exposer quelques éléments de la mesure de performance dans les chaînes logistiques, afin de pouvoir affiner notre choix d'indicateurs de performance nécessaires pour évaluer notre approche et la positionner par rapport à d'autres.

1.3.1 SCOR - Model : Définition, Structure et Apports

Définition : SCOR est un outil de modélisation. Il définit une démarche, des processus, des indicateurs et les meilleures pratiques du moment pour représenter, évaluer et diagnostiquer la Supply Chain. Cette méthodologie basée sur le client est générique,

rigoureuse, complète et structurante. Elle met en premier lieu à disposition des acteurs de la Supply Chain un langage commun et standardisé (alphabet, processus, indicateurs) qui répond à un besoin de définition unique, afin d'accélérer l'intégration interne et externe des entreprises. (Laville et al, 2007).

Structure générale du modèle : Le modèle SCOR est construit sous une forme hiérarchique. Les trois premiers niveaux de cette hiérarchie sont standards : niveau principal, niveau configuration, niveau activités. Les niveaux de décomposition au-delà de ce troisième niveau correspondent à la description des pratiques propres à chaque entreprise, pratiques découlant de leur stratégie, des spécificités de leur secteur d'activité ou de leur organisation et qui ne présentent pas un caractère générique approprié aux objectifs du modèle. (Laville et al, 2007).

Apports du modèle SCOR :

- Sécurisation de la Supply Chain : La représentation opérée par l'intermédiaire du modèle permet la mise en évidence de potentielles sources uniques d'approvisionnement, de ruptures organisationnelles, de traitements redondants, de flux d'informations empruntant des circuits tortueux... Le modèle SCOR conduit donc à identifier les chemins critiques de la Supply Chain (nœuds et liaisons).
- Alignement de la Supply Chain : La modélisation SCOR permet des configurations et reconfigurations rapides de la Supply Chain, rendant possible la mise en place de modèles économiques répondant à l'environnement changeant. Le modèle SCOR fournit donc à la Supply Chain la capacité d'être à la fois robuste, grâce à la structure du modèle, mais également résiliente, grâce aux reconfigurations possibles, rendues indispensables.
- Autres apports : - Etant générique, le modèle s'adapte à la plupart des problématiques Supply Chain issues de changements stratégiques tels que les fusions/acquisitions d'entreprises, analyses précédant la mise en place de nouveaux Systèmes d'informations...- Bien évidemment, comme tout projet transversal, mener un projet sur le modèle SCOR et de surcroît, s'il est conjugué avec d'autres démarches liées, elles aussi, à l'amélioration continue, nécessite le soutien de la direction générale ainsi que l'adhésion de tous les acteurs impliqués dans le projet.

1.3.2 Approche multi-agents

Les systèmes multi-agents, issus des travaux de l'intelligence Artificielle Distribuée, fournissent des outils pertinents pour la modélisation et la simulation de problèmes industriels (Parunak, 2000). Les propriétés qui définissent les agents, à savoir, l'autonomie, la pro-activité, la réactivité et la sociabilité (Iennings et al, 1998), rendent l'approche de modélisation multi-agents particulièrement adaptée à la problématique de modélisation et de simulation de chaînes logistiques (Labarthe, 2006).

En effet, un système multi-agents est un ensemble d'agents qui possèdent une certaine autonomie, un certain degré d'intelligence artificielle, une représentation de leur environnement, ils interagissent avec celui-ci, ils sont capables de prendre l'initiative, de

communiquer entre eux et ils peuvent s'adapter à différentes situations (Sayouti, 2007). La nécessité de ces concepts au niveau de notre plateforme collaborative justifie, en quelque sorte, le choix de l'approche multi-agents.

Paradigme agent : Un agent est défini en tant qu'une entité intelligente autonome, capable de communiquer avec d'autres agents, ainsi que de percevoir et de représenter son environnement.

Chaque agent effectue des actions spécifiques en fonction de la perception qu'il a de son environnement. Un ensemble d'agents en interaction forme un système multi-agents.

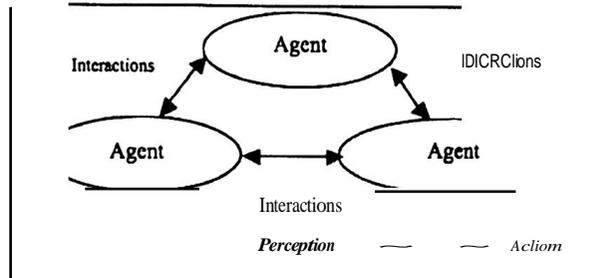


Figure 1 : Représentation d'un système multi-agents selon Ferber.

Ferber définit un agent comme une entité physique ou virtuelle (Ferber, 1995):

- Qui est capable d'agir dans un environnement ;
- Qui peut communiquer directement avec d'autres agents;
- Qui possède ces propres ressources ;
- Qui est capable de percevoir son environnement;
- Qui offre des services.

On peut, donc, définir un système multi-agents (SMA) comme étant un système composé d'un ensemble d'agents, situés dans un certain environnement et interagissant entre eux pour atteindre un objectif commun.

On distingue, dans notre modèle, deux types d'agents :

- **Agent cognitif :** ces agents ont une représentation globale de leur environnement et des autres agents avec lesquels ils communiquent. D'un côté, ils font appel à leur mémoire (historique de leurs exécutions) pour pouvoir agir en fonction d'un futur qu'ils estiment. D'un autre côté, ils s'appuient sur le principe de la planification et la collaboration entre agents.
- **Agent réactif :** ces agents ne font que réagir aux changements qui surviennent dans l'environnement. Ils ne font ni délibération ni planification, ils se contentent simplement d'acquiescer des perceptions et de réagir à celles-ci en appliquant certaines règles prédéfinies.

1.3.3 Mesure de la performance

Pourquoi des mesures de la chaîne logistique ?

- Plusieurs facteurs expliquent pourquoi les dirigeants ont besoin de mesures spécifiques pour gérer la chaîne logistique, et notamment (Lambert, 2002) :
- L'absence de mesures qui expriment la performance de l'ensemble de la chaîne;
- La nécessité d'aller au-delà des mesures internes et de couvrir toute la chaîne logistique;
- La nécessité de déterminer l'interaction entre la performance de chaque acteur et celle de la chaîne dans sa globalité ;
- La complexité du Supply Chain Management;
- La nécessité d'aligner les activités et de partager les informations concernant la performance pour mettre en œuvre une stratégie qui permette d'atteindre les objectifs de la chaîne logistique ;
- Le désir d'élargir l'angle de vision à l'intérieur de la chaîne logistique;
- La volonté de répartir les effets positifs et négatifs d'évolutions fonctionnelles au sein de la chaîne logistique ;
- La nécessité de différencier la chaîne logistique pour acquérir un avantage concurrentiel ;
- La volonté de promouvoir la coopération entre les fonctions dans les entreprises et entre les membres de la chaîne logistique.

1.3.4 Eléments de mesure de performance

La mesure de performance dans les chaînes logistiques « s'intéresse à l'amélioration du fonctionnement des processus support à la production et à l'accroissement de la productivité globale » (Amrani - Zouggar, 2009). Généralement, les outils et approches instrumentant la mesure de performance au périmètre d'une entreprise se sont adaptés au contexte d'évaluation de performances dans les chaînes logistiques. L'un de ces outils est le tableau de bord.

En effet, Bouquin (Bouquin, 2004) définit le tableau de bord comme « un instrument de mesure où un ensemble d'indicateurs permet aux décideurs de prendre connaissance de l'état et de l'évolution des systèmes qu'ils pilotent ». Cette dernière définition, évoque la notion d'indicateur comme un moyen de mesure de performance.

En effet, dans la littérature scientifique, nous cernons plusieurs définitions de la notion d'indicateur de performance :

- « Un indicateur de performance est une donnée quantifiée qui exprime l'efficacité et / ou l'efficience de tout ou partie d'un système (réel ou simulé), par rapport à une norme, un plan déterminé et accepté dans le cadre d'une stratégie d'entreprise» (Biteau, 1991), (Berrah, 1997);

- « Un indicateur de performance est une traduction chiffrée des objectifs stratégiques poursuivis par l'organisation» (Epstein, 1998);
- « Un indicateur de performance est une information devant aider un acteur individuel ou une organisation à conduire le cours d'une action vers l'atteinte d'un objectif, ou devant lui permettre d'en évaluer le résultat ». (Amrani - Zouggar, 2009) ;
- « Un indicateur de performance est associé à une « action à piloter» dont il doit révéler la pertinence opérationnelle» (Lorino, 2001), (Bouquin, 2004).

Les indicateurs peuvent être regroupés en deux grandes catégories de mesure, comme le présente Chan (Chan, 2003):

- **Quantitative** : C'est une mesure d'une grandeur physique. Dans ce type de mesure nous trouvons des grandeurs tels que :
 - Les coûts : coût de distribution, coût de production, coût de stockage, etc.
 - Utilisation des ressources : capacité des machines, énergie utilisée, etc.
- **Qualitative**: Une appréciation sur une échelle de valeur subjective (Stalk, 1990) tel que:
 - La qualité : satisfaction du client, temps de réponse client (entre l'ordre et la livraison), etc.
 - Flexibilité : flexibilité des machines, flexibilité de routage, flexibilité de la main d'œuvre.

En ce qui concerne la suite de notre travail, il nous paraît intéressant de caractériser la performance de notre approche face aux perturbations (rupture de stock, retard dans le délai, surcoût, ...) et fluctuations de l'environnement selon des indicateurs que nous allons détailler par la suite.

2. Application à l'étude de cas

Notre étude a été réalisée sur la filière agrumes, nous avons utilisé le modèle SCOR pour décomposer notre chaîne en processus afin de mieux visualiser les différents flux passés entre ses acteurs et faire sortir ses failles.

La filière des agrumes en étant le premier groupe de fruits exportés au Maroc ; est considérée comme stratégique, car elle participe à l'équilibre de la balance commerciale. Elle a été hissée au premier rang des priorités de la politique agricole. Largement bénéficiaire des investissements publics et d'incitations à la production en tant que culture d'exportation irriguée, ce secteur a connu depuis les années 60 un développement soutenu.

La chaîne logistique de cette filière fait appel à plusieurs acteurs allant de la production des agrumes jusqu'à la commercialisation de ces derniers; li s'agit d'une chaîne multi acteurs : verger: production / station : conditionnement / groupe : exportation / plateforme : distribution.

La station de conditionnement d'agrumes est considérée comme firme pivot de notre chaîne. Pour cela, notre chaîne amont sera composée du verger producteur comme acteur majeur, et la chaîne aval sera composée du groupe exportateur d'agrumes (au Maroc) et de plate forme de distribution (à l'étranger).

2.1 Modélisation SCOR de la filière agrumes

2.1.1 Processus de la SC agrumes :

Selon la norme internationale ISO / DIS 8402, un processus regroupe un ensemble de moyens (personnel, installations, équipements, techniques et méthodes) et d'activités liés qui transforment des éléments entrants en éléments sortants. Les principaux processus de la chaîne d'exportation des agrumes marocains nous semblent :

- **Processus planification:** la programmation dans la filière d'agrumes se fait en boucle, en commençant par le producteur tout en retournant vers lui... Ce processus peut être décomposé en deux sous processus :
- Sous-processus planification à long terme : concerne la conception du programme d'exportation globale de toute la campagne N en précisant le tonnage, les destinations, les moyens de transport à utiliser et autres ...
- Sous processus planification à court terme (Hebdomadaire) : concerne la planification hebdomadaire réelle de la semaine 's+1' et ce durant toute la campagne agricole N.
- **Processus approvisionnement:** pour arriver à satisfaire son client, la station de conditionnement S fait appel à plusieurs intervenants au niveau du conditionnement et emballage de ses agrumes. Ces intervenants sont des fournisseurs d'emballage, de matière première (agrumes), de fournitures de conditionnement (la cire...), des partenaires de transport et autres... Le processus approvisionnement a pour objectif majeur de traiter l'ensemble des approvisionnements nécessaires à la chaîne étudiée.
- **Processus conditionnement:** le processus de conditionnement vient juste après l'achèvement du processus d'approvisionnement. On note aussi que les deux processus sont continus dans le temps. Ledit processus concerne la firme pivot de la chaîne logistique agrumicole et a pour but de décrire les différentes étapes du conditionnement des agrumes.
- **Processus distribution :** le processus distribution concerne la chaîne **avale** représentée par le groupe exportateur des agrumes; Une fois conditionnés, la station de conditionnement livre ses agrumes au groupe exportateur qui s'occupe de leur commercialisation pour des différents marchés à travers sa plateforme à l'étranger...

2.1.2 Cartographie Globale des processus de la SC agrumes

Après avoir présenté chaque processus de la chaîne agrumicole, nous proposons une cartographie globale allant du fournisseur du fournisseur et arrivant au client pré-ultime. La figure 2 présente la cartographie proposée :

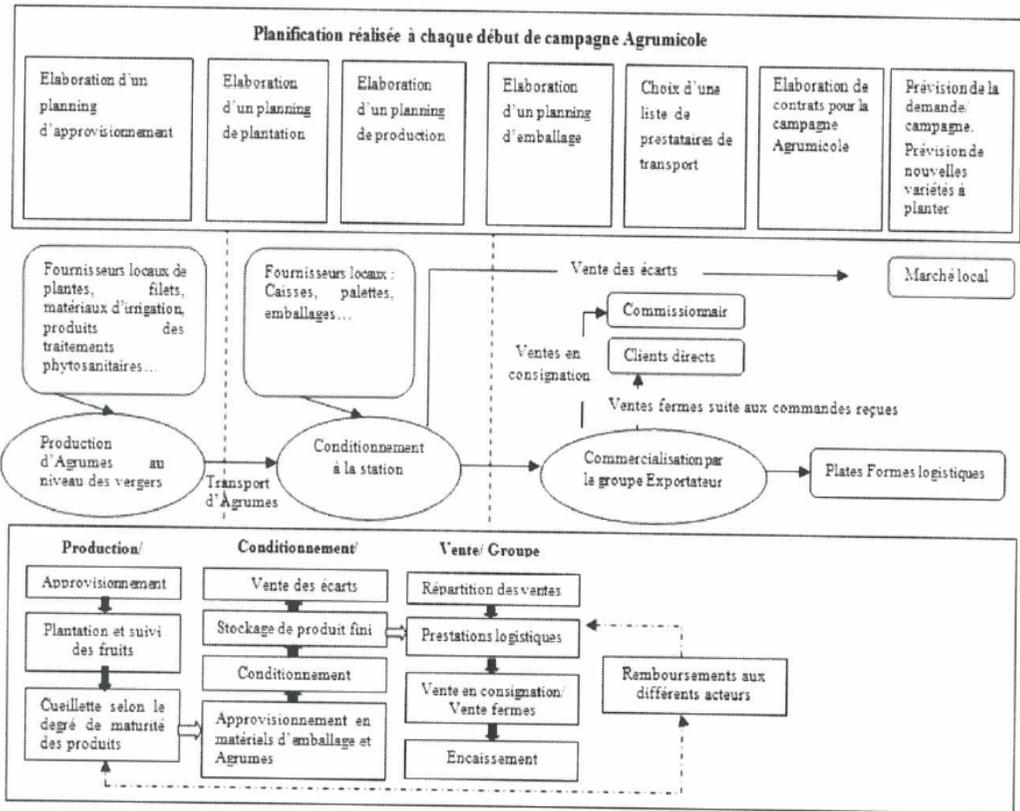


Figure 2 : Cartographie globale des processus de la SC agrumes.

Modélisation multi-agents des processus de la chaîne agrumicole

Après avoir décomposé notre chaîne logistique en processus sur lesquels nous nous sommes basé pour faire sortir des processus autonomes. Nous allons concevoir un système composé d'un ensemble d'agents situés dans un certain environnement et interagissant selon certaines relations. A cet effet, nous proposons dans nos travaux, de s'inspirer de l'approche multi-agents.

Chaque processus serait pré-modélisé par un système multi-agents et nous allons ensuite regrouper l'ensemble des systèmes dans une cartographie globale.

2.1.3 Agent 1 : Processus Approvisionnement

D'après les résultats acquis auparavant, les piliers majeurs d'achèvement du processus d'approvisionnement sont: l'emballage (E), les agrumes (A) et le Transport (T). En se basant sur le système multi-agents et nos résultats, nous représentons le processus d'approvisionnement comme suit:

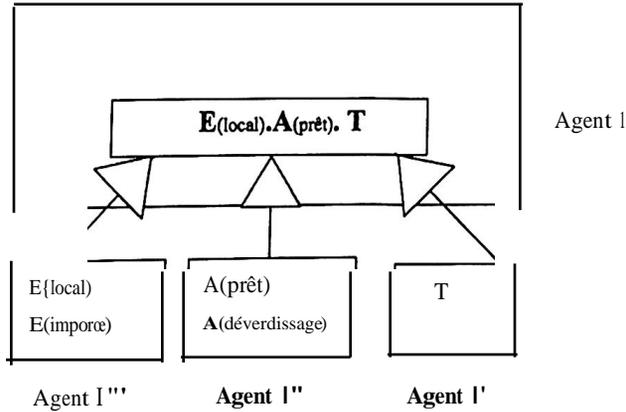


Figure 3 : Modélisation de l'agent 1.

E (local)	Emballage Local
E (importé)	Emballage Importé
A (prêt)	agrumes prêts pour le conditionnement
A (déverclissage)	agrumes non prêts pour le conditionnement
T	Transport (Verger - Station)

2.1.4 Agent 2: Processus Conditionnement

Ce processus fait appel à quatre opérations phares. A savoir : les produits chimiques (PC) utilisés dans le traitement des agrumes provenant du verger, les agrumes (A), l'emballage (E) et l'eau (E) utilisée dans la chaîne de conditionnement.

Nous proposons une modélisation du système multi-agents représentée comme suit:

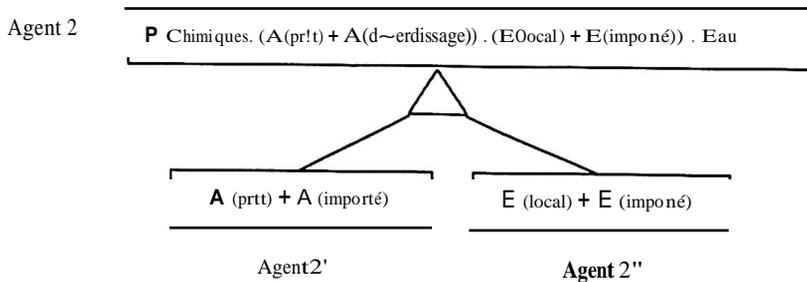


Figure 4 : Modélisation de l'agent 2.

E (local)	Emballage Local
E (importé)	Emballage Importé
A (prêt)	agrumes prêts pour le conditionnement
A (déverclissage)	agrumes non prêts pour le conditionnement
PChimiques	Produits Chimiques

2.1.5 Agent 3 : Processus Distribution

Le processus distribution est réalisé au niveau du groupe exportateur ; une fois conditionnés, la station de conditionnement livre ses agrumes au groupe exportateur (camions frigorifiques) qui s'occupe de leur commercialisation pour des différents marchés. A savoir : clients directs, plates-formes de distribution ou commissionnaires.

Nous tenons à signaler que les agrumes sont livrés aux différents clients (C) par deux types de transport maritime : transport (T) conventionnel et le transport (T) conteneurisé.

La modélisation ci-après illustre les piliers majeurs du processus « Distribution » :

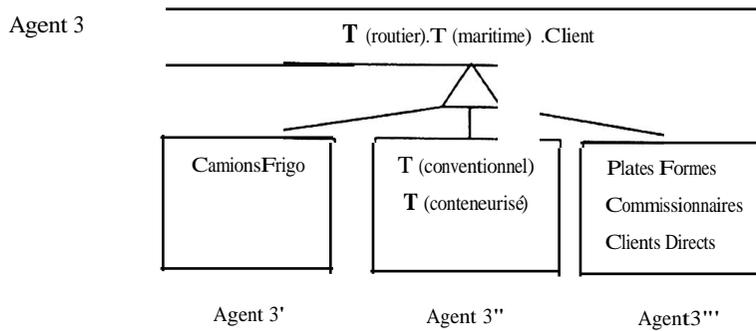


Figure 5: Modélisation de l'agent 3.

- T (conventionnel) Transport conventionnel
- T (conteneurisé) Transport conteneurisé
- T (routier) Transport routier
- T (maritime) Transport maritime

2.1.6 Agent 4 : Processus Planification

La planification est la phase clé de toute la chaîne logistique d'exportation d'agrumes ; c'est à la base de cette planification que commence le déroulement de la chaîne allant du verger jusqu'au client final.

Pour cela, réussir l'étape de programmation rassure le bon déroulement de toute la chaîne et vice-versa. Cette planification englobe toutes les opérations faites au niveau de la chaîne: l'approvisionnement en matière première, le conditionnement et l'expédition vers le client.

La programmation dans la filière d'agrumes se fait en boucle, en commençant par le producteur tout en retournant vers lui ...

A cet effet, nous avons considéré ce processus comme étant l'agent maître de tous les niveaux de la chaîne. Pour cela, la modélisation « Agent » relative à ce processus est proposée selon la figure 6 :

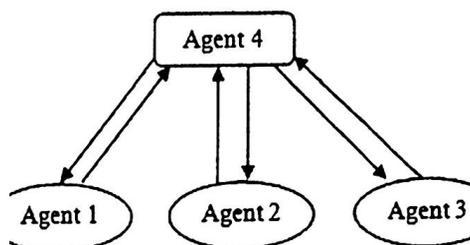


Figure 6 : Modélisation de l'agent 4.

3. Cartographie globale de la Supply Chain d'agrumes Marocains basée sur l'approche multi-agents

Après avoir modélisé nos processus en multi-agents avec des paramètres clés pour chacun, nous combinons entre le schéma pré-proposé et la décomposition processus pour faire sortir une nouvelle modélisation de la cartographie globale de la chaîne agrumicole. La figure 7 présente la cartographie proposée.

La modélisation de la chaîne logistique nous a facilité la détermination des différents points sur lesquels nous devons mettre l'accent pour améliorer notre Supply Chain des agrumes Marocains.

La cartographie ci-dessus a pour but de prendre en compte l'ensemble des interactions et transactions liées au produit et à la compréhension des différents processus et sous-processus de la chaîne grâce à une bonne interprétation de la demande agrégée jusqu'à la bonne réalisation des commandes.

Pour cela, des indicateurs de performances sont associés aux différents processus de la chaîne pour permettre à l'entreprise de s'évaluer.

4. Indicateurs de suivi et d'évaluation de performance des systèmes logistiques: Méthode basée sur l'approche processus et Multi-Agent

La surveillance de la qualité fait partie intégrante de tout système logistique d'agrumes; Elle peut décrire la performance de ce système, d'évaluer ses forces et ses faiblesses et d'identifier les points à améliorer.

A cet effet, la planification d'une chaîne logistique devient une opération complexe ; car une chaîne est assimilée à une relation point à point et à un véritable réseau sous une coordination et une vision globale. Cette coordination plutôt présente dans le cas d'une entreprise multi-sites, permet la prise en compte des besoins clients et les délais imposés par les fournisseurs qui demeurent importants pour définir une planification fiable.

L'objectif de cette partie est d'apporter une aide aux décideurs à satisfaire au mieux le client final tout en planifiant leurs production et approvisionnements.

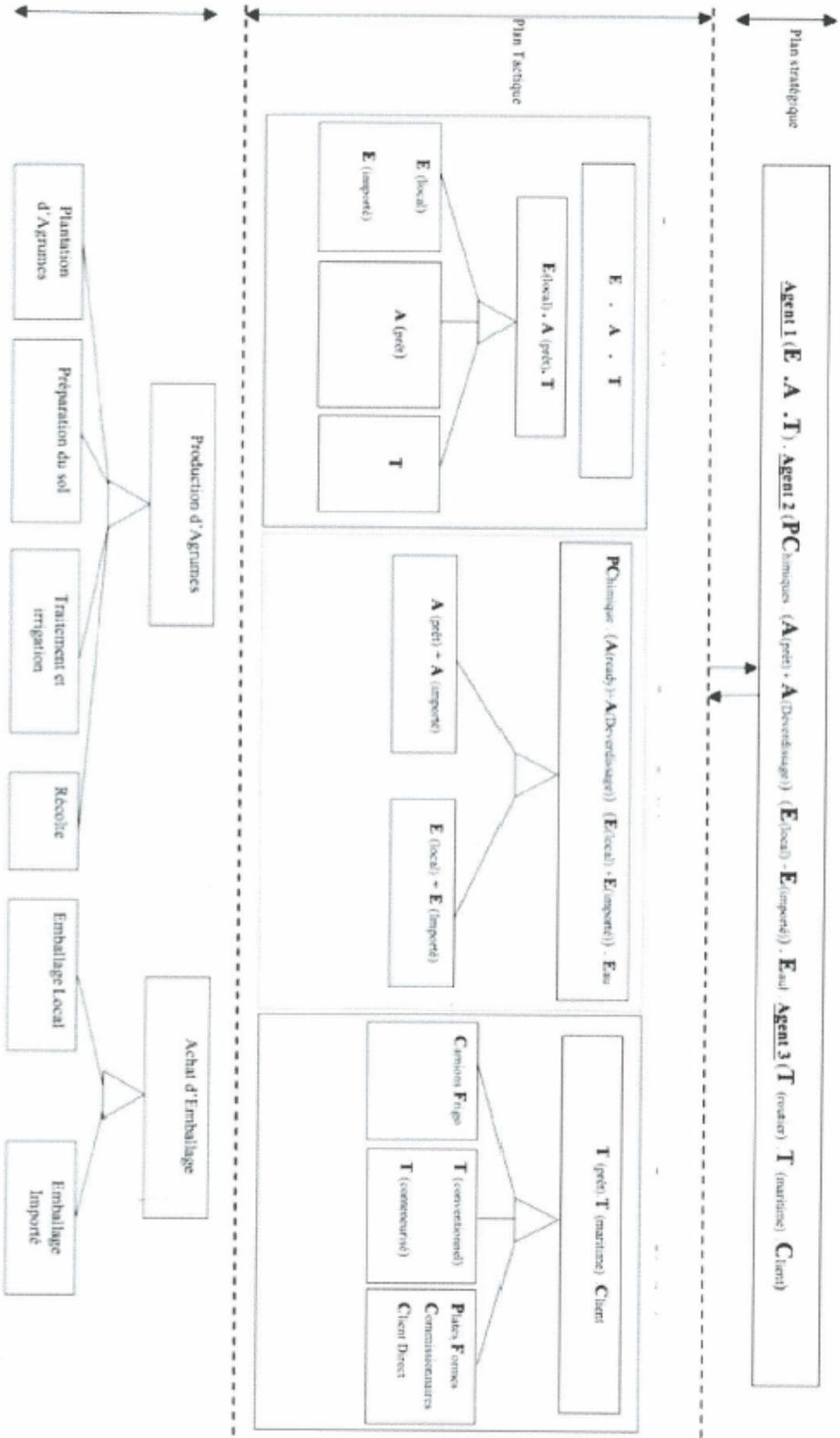


Figure 7 : Cartographie globale de la Supply Chain d'agrumes Marocains basée sur l'approche multi-agents.

4.1 *Planification robuste dans un environnement incertain*

La planification robuste a pour mission principale :

- D'anticiper les problèmes pouvant survenir dans les différents processus de la chaîne logistique ;
- Définir les meilleures décisions dans le contexte de la réactivité de la chaîne logistique et ce, suivant les degrés de liberté dont il dispose le décideur (quantité d'approvisionnement, capacité, quantité à produire ou à sous-traiter, etc.).
- D'intégrer des paramètres incertains lors de la planification.

4.2 *Modélisation de la Chaîne logistique complexe :*

Une chaîne logistique est un système complexe qu'il faut décomposer en sous-systèmes, chaque sous-système peut représenter une entité ou une fonctionnalité de la chaîne paramétrée par des entrées et des sorties avec des objectifs.

On distingue trois types de modélisation basée sur l'approche multi-agents; La première concerne une approche centralisée, où un seul agent contrôle les différents processus de la chaîne, l'inconvénient de cette méthode est la lourdeur de traitement, le manque de flexibilité et de réactivité. Le deuxième type de modélisation est basé sur une architecture décentralisée, où chaque agent contrôle et supervise un seul processus, et échange des informations avec les autres agents. L'avantage de cette approche est la meilleure flexibilité et réactivité locale et son inconvénient se manifeste dans le manque de visibilité globale et l'impossibilité de la coordination globale.

Nous proposons une nouvelle approche basée sur le mixage de l'approche décentralisée et centralisée, où chaque agent contrôle un processus et transmet un compte rendu au niveau de l'agent central qui coordonne avec les autres agents. La vision globale de cette architecture va assurer une réactivité suite à des changements, une revue des objectifs en cas d'imprévu et aussi une meilleure flexibilité.

4.2.1 **Architecture centralisée**

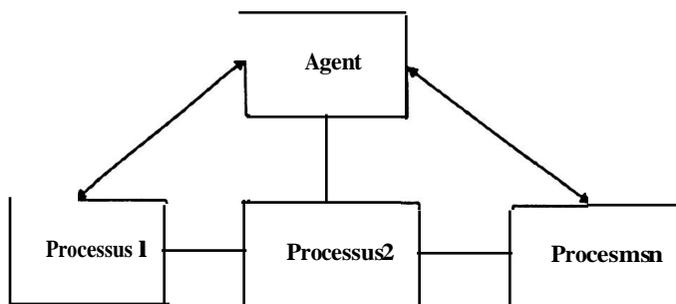


Figure 8 : Modélisation de l'architecture centralisée.

4.2.2 Architecture décentralisée

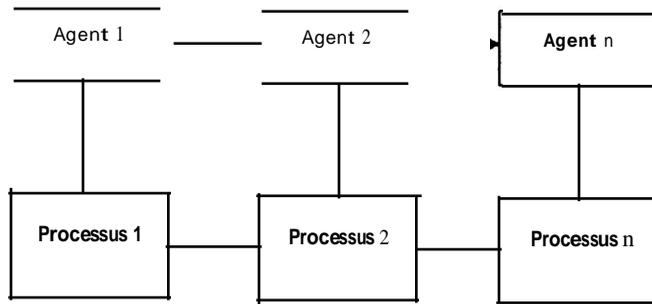


Figure 9: Modélisation de l'architecture décentralisée.

4.2.3 Architecture mixte

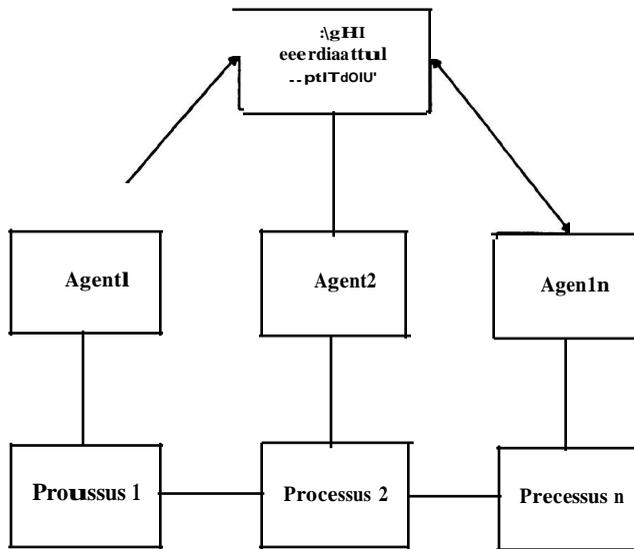


Figure 10: Modélisation de l'architecture mixte.

Comme nous l'avons présenté, notre chaîne logistique est composée d'un ensemble de processus interconnectés; Chaque processus/Agent évolue dans un environnement incertain qui, bien évidemment, se propage aux autres processus/Agent et influence les objectifs et la performance de la chaîne globale. La modélisation proposée ci-dessus, va nous permettre de maintenir la performance de notre chaîne en maîtrisant les perturbations qui peuvent affectées ses processus/Agent par une réactivité locale.

Le rôle de la réactivité locale est de pouvoir mettre en place des actions correctives permettant de pallier en interne les différentes incertitudes et perturbations afin de préserver le tableau local pour un horizon déterminé.

Plusieurs scénarios peuvent être étudiés afin de montrer la capacité de la chaîne à préserver ses objectifs globaux.

On distingue, dans ce paragraphe, deux types de perturbations qui peuvent affecter la chaîne logistique agrumicole: la première concerne une perturbation mineure dont l'effet reste local au sein de l'un de ses processus sans pour autant affecter les autres. Sur le plan pratique, ce type de perturbation peut représenter un retard dans le délai pré-calculé, une indisponibilité d'un moyen, une variation dans le stock, ... Plusieurs actions peuvent être déployées pour remédier à ces imprévus en faisant appel à la redondance matérielle et en sollicitant des moyens locaux (Figure 10). Cependant, il est envisageable également d'anticiper certaines actions pour pallier certains retards. Par conséquent, toute la partie planification doit être revue et adaptée aux différents changements.

Le deuxième type concerne la perturbation majeure qui a un impact beaucoup plus important sur la chaîne, et qui a tendance à se propager dans ses différents processus. En effet, la maîtrise de ce type de perturbation reste délicate et dépend des degrés de liberté restants disponibles (ressources et moyens, collaboration, externalisation et sous-traitance, ...) et qui permettront de minimiser l'effet de la perturbation sur la performance de la chaîne.

Le schéma de la figure 11 illustre notre proposition basée sur la conception des agents autonomes permettant de faire face aux perturbations mineures et majeures qui peuvent affecter la performance globale de chaîne.

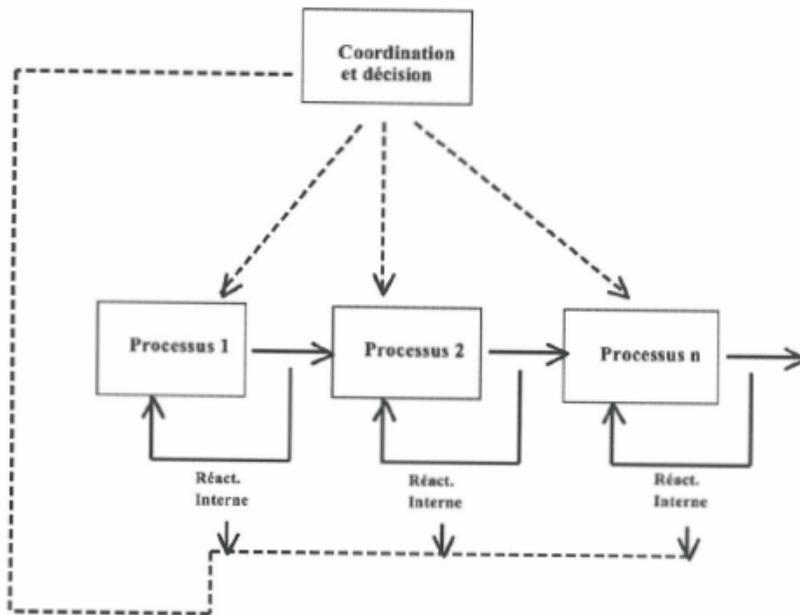


Figure 11 : Modélisation d'une chaîne complexe réactive.

5. Conclusion

Nous avons positionné notre travail dans le contexte de pilotage stratégique de la chaîne logistique agrumicole, en se focalisant sur l'amélioration de sa performance. Dans ce contexte, nous avons élaboré une revue des approches de modélisation appliquées dans le cadre de gestion de la chaîne logistique. Ceci, nous a amené à retenir les approches

hiérarchiques comme une solution pertinente. D'une part, ces approches reflètent la réalité des relations de coordination qui s'installent entre les différents acteurs d'une même chaîne. D'autre part, elles offrent un bon compromis entre la recherche d'une planification optimale, synonyme de compétitivité, et la souplesse décisionnelle, source de réactivité.

En effet, dans une conjoncture économique caractérisée par une concurrence accrue et un environnement technologique et social fluctuant, la réactivité est devenue un enjeu majeur pour les chaînes logistiques. Pour cela, nous avons étendu l'approche proposée au pilotage réactif aux changements et aux incertitudes qui caractérisent les paramètres de l'environnement de la chaîne logistique agrumicole.

En effet, nous avons proposé une nouvelle modélisation de la chaîne logistique agrumicole en se basant sur l'approche multi-agents et les indicateurs de suivi et d'évaluation de performance de ses systèmes logistiques afin de pouvoir construire une nouvelle chaîne autonome, robuste et réactive et pour optimiser et contrôler le flux de matières et d'information entre ses différents acteurs et intervenants. Pour cela, nous avons proposé une approche permettant d'identifier et de définir les atouts d'une chaîne logistique robuste et réactive par rapport aux perturbations et aux incertitudes, en s'appuyant sur un modèle de pilotage mixte (centralisé / décentralisé).

Dans les perspectives de ce travail, nous allons proposer et analyser les scénarios de fonctionnement d'une chaîne robuste et réactive. Ensuite nous allons étendre cette méthode au contexte de la planification adaptative afin d'obtenir en final une chaîne intelligente et autonome.

6. Bibliographie

- Amrani - Zouggar, A., (2009), « Impact des contrats d'approvisionnement sur la performance de la chaîne logistique: Modélisation et simulation», Thèse de Doctorat, Université Bordeaux 1.
- Berrah, L., (1997), « Une approche d'évaluation de la performance industrielle, modèle d'indicateur et techniques floues pour un pilotage réactif», Thèse de doctorat, INP Grenoble.
- Biteau, R., Carreau A., Gavaud M., (1991), Dictionnaire des termes de gestion industrielle, Editions AFGI (Association of Financial Guaranty Insurers).
- Bouquin, H., (2004), Le contrôle de gestion (2ème édition), Presses Universitaires de France.
- Chan, F.T.S., (2003), « Performance Measurement in a Supply Chain», International Journal Advanced Manufacturing Technology, n° 1, pp. 534-548.
- Cooper, M., Lambert, D., Pagh, J., (1997), « Supply chain management: more than a new name for logistics », International Journal of Logistics Management, n° 1, pp. 1-14.
- Cousin, J., (2006), Key Performance Indicators for Global Materials Management and Logistics, Automotive Industry Action Group.
- Epstein, M., Manzoni J.F., (1998), « Implementing corporate strategy: from Tableaux de bord to balanced scorecards », European Management Journal, vol 16, pp. 199-203.
- Ferber, J., (1995), Les systèmes multi-agents vers une intelligence collective, InterEditions.
- Fournet, P., (2006), Livre Blanc GMA, Economica.
- Gharbi, H., (2012), « Planification réactive et robuste au sein d'une chaîne logistique », thèse de doctorat, INSA Toulouse.
- Gilmour, P., (1999), « A strategic audit framework to improve supply chain performance», Journal of Business & Industrial Marketing, n° 4, pp. 283-290.

- Jeruings, N.R., Sycara, K., Wooldridge, M., (1998), « A Roadmap of Agent Research and Development, Autonomous Agents and multi-agents Systems », n° 1, pp. 7-38.
- Julien, P.A., (1997), Les PME bilan et perspectives (2ème édition), Economica.
- Labarthe, O., (2006), « Modélisation et simulation orientées agents de chaînes logistiques dans un contexte de personnalisation de masse : Modèles et cadre méthodologique », thèse de doctorat, Université Paul Cezanne. Marseille - France.
- Lambert, M., Pohlen, L., (2002) : « Mesurer la performance globale de la chaîne logistique », *Mesure et valeur de la chaîne logistique*, n° 1, pp. 7-8.
- Laville, J. J., Paul, J., (2007), « The SCOR Model of Excellence Vector Supply Chain. », *Supply Chain Magazine*, n° 13, pp. 241-255.
- Lizarrage, V., Dupont, L., Gourg, D., Pingaud, H., (2005), « Contributing to management of shared projects in SMEs manufacturing clusters », 18th International conference on Production Research (ICPR-18), Salerno, Italy.
- Lorino, P., (2001), Indicateurs de performance, Productique-Hermès.
- Parunak, H.V.D., Practitioners, A., (2000) « Review of Industrial Agent Applications, Autonomous Agents and multi-agents Systems », n° 4, pp. 389-407.
- Porter, M., (1990), *The competitive Advantage of Nations*, New York: free press.
- Ruet, S., (2014), « Maîtrise des incertitudes de l'environnement de la chaîne logistique: une analyse au regard du décalage entre théorie et pratique », thèse de doctorat de l'École Doctorale Sciences de Gestion, Paris.
- Sayouti, A., RichiAniba, F., Medromi, H., Lakhouili, A. (2007), « Remote Control Based on Multi Agents Systems. First International Conference on Research Challenges in Information Science (RCIS) », Ouarzazate, Morocco.
- Stalk, G., Hout, T., (1990), *How time-based management measures performance*, Planning Review.
- Tambade, H., (2010), *Supply Chain Operation Reference SCOR*, Supply Chain Council Inc (Version 10.0).
- Valla, A., (2008), « Une méthodologie de diagnostic de la performance d'une chaîne logistique », Thèse de doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon.