

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la
Recherche Scientifique



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique

Ecole Nationale Polytechnique
Département de Génie Industriel

Mémoire de Magister

Présenté par :

ALLALOU Mourad
Ingénieur d'Etat en Statistiques

Thème

Modélisation de la chaîne logistique par le modèle de
planification intégré

Cas pratique: Entreprise Vitajus

Préparé et présenté par:
Mr ALLALOU Mourad

Encadré par:
Mme O.BELMOKHTAR

Membres du jury:

Président : Mr A.BOUBAKEUR
Encadreur : Mme O.BELMOKHTAR
Examineurs : Mme S.BENMAMAR
Mme H.KERCHI

Professeur à l'ENP
Professeur à l'ENP
Maitre de conférence à l'ENP
Maitre de conférence à l'ENSSEA

Année 2012

ملخص:

المشكلة الرئيسية التي تم تناولها في هذا العمل هي نمذجة سلسلة لوجيستية باستخدام "نموذج التخطيط المدمج".

تعرف السلسلة اللوجيستية كونها مجموعة أنشطة التسيير وإدارة التدفقات من الموردين إلى الزبون لتلبية الطلب و في نفس الوقت السعي إلى تحقيق الاستخدام الأمثل للموارد.

المناهج التقليدية لنمذجة السلاسل اللوجيستية تهتم بالأنشطة اللوجيستية المختلفة، وتهمل الجوانب المالية. الهدف من هذا العمل هو تحقيق الأمثلية للآثار المشتركة للتدفقات المادية والإعلامية وأيضاً تلك التي تتعلق بالجوانب المالية. لتحقيق هذا الإدماج، تم تطوير نموذج مدمج من البرمجة الخطية (نموذج تخطيط مالي مدمج). وقد تم وضع النموذج لشركة متخصصة في الصناعات الغذائية (شركة فيتاجو).

المفاتيح: سلسلة لوجيستية, نمذجة, تسيير السلاسل اللوجيستية, البرمجة الخطية.

Résumé :

Le problème principal traité dans ce travail est la modélisation de la chaîne logistique en utilisant le "Modèle de Planification Intégré", (integrated planning model).

La chaîne logistique est définie comme étant l'ensemble des activités de gestion et de pilotage des flux depuis les fournisseurs jusqu'au client final afin de satisfaire la demande tout en cherchant à optimiser l'utilisation des ressources.

Les approches traditionnelles pour la modélisation des chaînes logistiques s'intéressent aux différentes activités logistiques et négligent les aspects financiers. L'objectif de ce travail est d'optimiser les effets combinés des flux physiques et informationnels ainsi que ceux relatifs aux aspects financiers. Pour aboutir à cette intégration, un modèle intégré de programmation linéaire est élaboré (an integrated planning budgeting model). Le modèle est développé pour une entreprise spécialisée dans l'industrie agroalimentaire (Vitajus) .

Mots clés: Chaîne logistique, Modélisation, Supply Chain Management, Programmation linéaire.

Abstract:

The main problem addressed in this work is the modeling of the supply chain using the "Integrated Planning Model".

The supply chain is defined as the whole activities of management and piloting of flows from the suppliers to the final customer, in order to satisfy the demand while seeking to optimize the use of the resources.

The traditional approaches for supply chain modeling are interested in the various logistic activities and neglect the financial aspects. The objective of this work is to optimize the combined effects of physical and informational flows as well as those relating to the financial aspects. To lead to this integration, an integrated model of linear programming is elaborated (an integrated planning budgeting model). This model is developed for a company specialized in food industry (Vitajus)

Key words: supply chain, modeling, supply chain management, linear programming.

Table des matières :

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

INTRODUCTION GENERALE	1
------------------------------------	----------

Chapitre1 Les concepts de logistique et de Supply Chain Management

INTRODUCTION	3
---------------------------	----------

1.DEFINITION DE LA LOGISTIQUE D'ENTREPRISE	3
---	----------

2.DEFINITION DE LA CHAINE LOGISTIQUE (SUPPLY CHAIN – SC)	4
---	----------

3.STRUCTURE PHYSIQUE DE LA CHAINE LOGISTIQUE	6
---	----------

4.GESTION DE LA CHAINE LOGISTIQUE (SUPPLY CHAIN MANAGEMENT)	8
--	----------

5.LES TROIS FLUX DE LA CHAINE LOGISTIQUE	10
---	-----------

5.1 LE FLUX D'INFORMATION	11
---------------------------	----

5.2 LE FLUX PHYSIQUE	11
----------------------	----

5.3 LE FLUX FINANCIER	11
-----------------------	----

6.1. LE PROCESSUS APPROVISIONNEMENT	12
-------------------------------------	----

6.2. LE PROCESSUS PRODUCTION	13
------------------------------	----

6.3. LE PROCESSUS DISTRIBUTION	13
--------------------------------	----

6.4. LE PROCESSUS VENTE	13
-------------------------	----

6.5. INTERACTIONS ENTRE LES PROCESSUS ET AUTRES « SERVICES »	14
--	----

7.1. UNE APPROCHE PARTIELLE ET MORCELEE	14
---	----

7.2. UNE APPROCHE INTERNE	15
---------------------------	----

7.3. UNE APPROCHE MULTI-SITES INTERNE	15
---------------------------------------	----

7.4. UNE APPROCHE INTEGREE	15
----------------------------	----

7.5. UNE APPROCHE GLOBALE	15
---------------------------	----

CONCLUSION :	16
---------------------------	-----------

Chapitre2: Modélisation et simulation des chaines logistiques

INTRODUCTION	17
---------------------------	-----------

1. PRESENTATION DU SUPPLY-CHAIN COUNCIL ET DU MODELE SCOR	17
--	-----------

1.1. LE SUPPLY-CHAIN COUNCIL	17
------------------------------	----

1.2. LE MODELE SCOR	17
---------------------	----

2. UNE APPROCHE STRUCTUREE DES MODELISATIONS DE LA CHAINE LOGISTIQUE	22
---	-----------

2.1.STRUCTURE ORGANISATIONNELLE FRAGMENTEE -----	24
2.2. STRUCTURE ORGANISATIONNELLE HIERARCHIQUE-----	24
2.2.2.IRéseau de Pétri [ENSM] -----	25
2.2.3.SADT (Structured Analysis and Design Technics) [SADT]-----	26
2.2.4.Famille des méthodes IDEF-----	26
2.3.STRUCTURE ORGANISATIONNELLE INTEGREE -----	26
2.3.1.Merise-----	27
2.3.2.CIMOSA (CIM Open System Architecture)-----	27
2.3.3.La méthode GRAI (Graphe de Résultats et Activités Inter-reliés) -----	28
2.3.4.PERA (Purdue Enterprise Reference Architecture) -----	28
2.3.5.ARIS (Architecture for integrated Information Systems)-----	28
2.3.6.GERAM (Generalized Enterprise Reference Architecture and Methodology)-----	29
2.4.STRUCTURE ORGANISATIONNELLE DISTRIBUEE -----	29
2.4.1.TOVE (Toronto Virtual Entreprise project) -----	29
2.4.2.IEM-----	30
2.5.STRUCTURE ORGANISATIONNELLE INTELLIGENTE -----	30
2.5.1.Système multi-agents (SMA)-----	30
2.5.2.Réseaux de neurones -----	30
2.5.3.Agile manufacturing: Standard BPMN -----	31
2.5.4.Méta-modèles -----	32
4.SIMULATION-----	35
4.1.BUT DE LA SIMULATION-----	35
4.2.SIMULATION NUMERIQUE-----	35
4.3.LOGICIELS DE SIMULATION -----	36
4.4.DIFFICULTES ET LIMITES DE LA SIMULATION -----	36
CONCLUSION -----	37

Chapitre3: Revue de la littérature

INTRODUCTION -----	38
1.1.MODELES ANALYTIQUES DETERMINISTES-----	39
1.2.MODELES ANALYTIQUES STOCHASTIQUES -----	42
1.4.MODELES DE SIMULATION -----	45
2.MESURES DE LA PERFORMANCE DE LA CHAINE LOGISTIQUE -----	46
2.2.1.MESURES DE PERFORMANCE QUALITATIVES -----	46
2.2.2.MESURES DE PERFORMANCE QUANTITATIVES-----	47
2.2.1.Mesures basées sur le coût -----	47
2.2.2.Mesures basées sur la réponse du client -----	47
2.3.MESURES DE PERFORMANCE UTILISEES DANS LA MODELISATION LA DE CHAINE LOGISTIQUE -----	48
3.LES VARIABLES DE DECISION DANS LA MODELISATION DE LA CHAINE LOGISTIQUE-----	50

4. TRAVAUX DE RECHERCHES	50
4.1. MESURES DE PERFORMANCE DE LA CHAINE LOGISTIQUE	52
4.2. OPTIMISATION DE LA CHAINE LOGISTIQUE	52
4.3. PROBLEMES DE LA MODELISATION DE LA CHAINE LOGISTIQUE	53
4.3.1. <i>Ajournement de produit Product postponement</i>	53
4.3.2. <i>Modélisation de chaine logistique simple nation Vs mondiale (Global vs. single nation supply chain modeling)</i>	53
4.3.3. <i>Distorsion de la demande et amplification de la variation</i>	54
4.4.4. CLASSEMENT DES CHAINE LOGISTIQUES	54
5. LES ASPECTS FINANCIERS DANS LA CHAINE LOGISTIQUE	54
CONCLUSION	55

Chapitre4: Le modèle de Planification Intégré

INTRODUCTION	56
1. ORDONNANCEMENT ET PLANIFICATION:	56
1.1. PREMIERE ETAPE: L'ORDONNANCEMENT DETAILLE :	58
1.1.1. <i>Contraintes de bilan de matière :</i>	58
1.1.2. <i>Contraintes liées au calendrier</i>	60
1.2. DEUXIEME ETAPE: PLANIFICATION DE LA PRODUCTION	62
2. GESTION DE LA TRESORERIE:	63
2.1. MODELE DE BUDGETISATION (ECONOMIQUE):	64
2.2. FONCTION OBJECTIF	67
3. APPROCHE TRADITIONNELLE	68
4. MODELE INTEGRE	69
5. ADAPTATION DU MODELE A L'ENTREPRISE VITAJUS	70
5.1. PRESENTATION DE L'ENTREPRISE VITAJUS	70
5.2. PROCESSUS DE PRODUCTION	71
5.3. CARACTERISTIQUES DE LA CHAINE LOGISTIQUE ETUDIEE	71
5.4. MODELISATION MATHEMATIQUE	72
5.4.1. <i>Variables de décisions</i>	73
5.4.2. <i>Contraintes</i>	73
5.4.3. <i>La fonction objective</i>	75
5.4.4. <i>Modèle mathématique</i>	75
5.4.5. <i>Evaluation du modèle</i>	76
5.4.6. <i>Méthode de résolution</i>	77
METHODE « BRANCH & BOUND »[78
1. <i>Principe</i>	78
1.1. <i>La séparation</i>	78

<i>1.2. L'évaluation</i>	78
<i>1.3. Algorithme général</i>	78
CONCLUSION	81
CONCLUSION GENERALE	82
BIBLIOGRAPHIE	84
ANNEXE 1: QUESTIONNAIRE SUPPLY CHAIN MANAGEMENT	95
ANNEXE2 : DONNEES UTILISEES	101
ANNEXE3 : MODELE PROGRAMME SOUS LINGO	107

Liste des Figures

Figure 1 : reseaux de la chaine logistique.....	4
Figure 2 : activites et entreprises de la chaine logistique.....	6
Figure 3 :structures elementaires d'une chaine logistique d.....	7
Figure 4 : supply chain management d'apres cooper et al, 1997	10
Figure 5 : scp-matrix, d'apres stadler et kilger, 2000	12
Figure 6 : organisation du modele scor autour des 5 processus majeurs de management.	18
Figure 7 : table de configuration : niveau 2 du modele scor.	20
Figure 8 : modele de reference de processus.	20
Figure 9 : representation graphique d'une file d'attente primaire.....	24
Figure 10 : typologie de la modelisation graphique des reseaux de petri.	25
Figure 11 : representation mi-mathematique du reseau de la figure 8.	25
Figure 12 : module de base de la representation graphique sadt.....	26
Figure 13 : exemple general de schema de processus (idef3).	26
Figure 14 : representation de la methode merise.	27
Figure 15 : le cube cimosa [wikic].	28
Figure 16 : geram : structure de ses composants [hob].	29
Figure 17 : representation graphique tove.	30
Figure 18 : reseaux de neurones boucles (droite) et en couche (gauche).	31
Figure 19 : standard bpmn.....	32
Figure 20 : exemple de representation graphique des operateurs systemiques	33
Figure 21 : approche mda et les 4 niveaux de modeles.	34
Figure 22 : taxonomie des modeles de chaine logistique.....	34
Figure 23 : processus de la chaine logistique	39
Figure 24 : structure de la chaine logistique.....	56
Figure 25 : representation du temps	58
Figure 26 : chaine logistique vitajus.....	72
Figure 27 : algorithme general de la methode "branch and bound"	79
Figure 28 : histogramme des ventes des produits finis par marche et par periode	80

Liste des tableaux

Tableau 1 : les 4 niveaux de modelisation scor.....	19
Tableau 2 : exemples d'indicateurs de performance de la chaine logistique	21
Tableau 3 : des structures organisationnelles d'apres.....	23
Tableau 4 : interpretation de la metrique eicm pour les approches et les modeles associes.....	24
Tableau 5 : mesures de performance dans la chaine logistique.....	49
Tableau 6 : resume revue de la litterature	50
Tableau 7 : les contraintes	77
Tableau 8 : les variables considerees dans le modele	77
Tableau 9 : ventes des produits finis par marche et par periode.....	80
Tableau 10 : coefficient de conversion de masse de la matiere premiere r et du produit intermediaire p	101
Tableau 11 : coefficient de conversion de masse du produit intermediaire p et du produit fini f	101
Tableau 12 : la demande du produit fini f a la periode t	102
Tableau 13 : couts lies a la production a la periode t	102
Tableau 14 : taux d'interet de la banque a la periode t	103
Tableau 15 : le benefice du produit f sur le marche l a la periode t	103
Tableau 16 : la capacite de production du produit f	103
Tableau 17 : budget disponible a la periode t	104
Tableau 18 : le cout d'achat de la matiere premiere r chez le fournisseur e a la periode t	104
Tableau 19 : valeur initiale de la variable Q_p^t	105
Tableau 20 : valeur initiale de la variable $Qout_f^t$:	105
Tableau 21 : la valeur initiale de la variable NVR_r^t	105
Tableau 22 : la valeur initiale de la variable NVP_p^t	106
Tableau 23 : la valeur initiale de la variable NVF_{kf}^t	106

Liste des abréviations

APS	Advanced Planning Systems
ARIS	Architecture for integrated Information Systems
BPMN	Business Process Modeling Notation
BS	Borne Supérieure
CD	Centre de Distribution
CIM	Computer-Integrated Manufacturing
CIMOSA	Computer Integrated Manufacturing Open System Architecture
CSCMP	Council of Supply Chain Management Professionals
EDI	Echange de Données Informatisées
EI	Enterprise Integration
EICM	Enterprise Integration Capability Model
ENSM	
EOQ	Economic Order Quantity
ESPRIT	European Strategic Program on Research in Information Technology
FIFO	First In First Out
GERAM	Generalized Enterprise Reference Architecture and Methodology
GRAI	Graphe de Résultats et Activités Inter-reliés
GSC	Global Supply Chain
GSCM	Global Supply Chain Model
IIS	Integrating InfraStructure
IS	Internal Supplier
JIT	Just In Time
LIFO	Last In First Out
MDA	Model Driven Architecture
MERISE	Méthode d'Etude et de Réalisation Informatique pour les Systèmes d'Entreprise
MFW	Modeling FrameWork
MILP	Mixed Integer Linear Programming
MK	Market
PERA	Purdue Enterprise Reference Architecture
SADT	Structured Analysis and Design Technics
SC	Supply Chain
SCC	Supply-Chain Council
SCM	Supply Chain Management
SCOR	Supply Chain Operations Reference
SCP-Matrix	Supply Chain Planning- matrix
SLC	System Life Cycle
SMA	Système multi-agents
TIC	
TOVE	Toronto Virtual Enterprise project
UML	Unified Modeling Language
WH	Warehouse
WZ	Zero Waiting

Introduction Générale

Introduction générale

Les défis multiformes de la globalisation de l'économie, les bouleversements dans les marchés de capitaux, ainsi que les contraintes complexes auxquelles est confrontée l'entreprise, constituent autant de risques pour sa pérennité. Pour elle, la condition vitale, est de maîtriser, tant à l'amont qu'à l'aval, les différents niveaux qui concourent directement ou indirectement à la création, la naissance et la vie du produit.

Dans un environnement en perpétuelle mutation, l'entreprise est au cœur d'un ensemble de facteurs, plutôt maîtrisable lorsqu'ils sont d'ordre endogène, et aléatoire dans leur forme exogène.

De ce fait, il est tout à fait naturel que le concept de gestion de la chaîne logistique (SCM), qui est apparu au début des années 90, ait récemment suscité beaucoup d'intérêt depuis la possibilité d'une gestion intégrée de la chaîne logistique (SC), soit :

- Pouvoir réduire la propagation d'événements imprévus/indésirables à travers le réseau.
- Pouvoir influencer de manière décisive la rentabilité de tous les membres.

Le SCM recherche l'intégration d'une usine avec ses fournisseurs et ses clients, afin d'être contrôlée dans l'ensemble, et la coordination de tous les flux d'entrée /sortie (flux de matières, informationnels, et financiers), de sorte que les produits soient fabriqués et distribués à la bonne quantité, au bon endroit et au bon moment.

Les modèles traditionnels de la la SC se concentrent uniquement sur la détermination du bénéfice ou la maximisation du revenu, ou le programme de minimisation du cout de fabrication dans une SC depuis les fournisseurs aux usines de fabrication aux points de distribution et, enfin aux points de vente. Ces modèles négligent les conséquences des flux financiers du plan de production optimal.

Jusqu'à aujourd'hui, les processus opérationnels et les finances ont été traités comme des problèmes distincts, sans prise en compte des interactions susceptibles d'influer, et les approches de modélisation qui les soutiennent ont été traditionnellement mises en œuvre dans des environnements indépendants,

Bien que la nécessité de tenir compte des aspects financiers en construisant des modèles de processus opérationnels ait été soulignée dans la littérature, l'intégration des deux secteurs a jusqu'ici suscité peu d'attention et attend davantage d'étude eu égard à sa dimension décisive et capitale dans la prise de décision en entreprise.

En effet, un outil intégré pour le SCM, permettrait aux gestionnaires de "jouer" avec les différentes solutions de planification en tenant compte de toute l'information disponible et d'avoir Une idée claire des conséquences de chaque alternative testée. Avec cette aide, il est possible d'évaluer correctement l'impact des décisions des processus opérationnels sur le secteur financier dans le SCM.

Cette nouvelle philosophie permettra aux managers d'acquérir un avantage concurrentiel par rapport à ceux qui ne vérifient ni la faisabilité ni l'optimalité des décisions de processus opérationnels du point de vue financier.

Le but de ce travail est de présenter des considérations budgétaires dans un modèle de chaîne logistique, il est structuré comme suit :

Dans un premiers temps, les différentes notions de chaîne logistique et de Supply Chain Management, les structures qui la composent ainsi que les outils et logiciels de modélisation et de simulation qui les soutiennent sont proposées,. Ensuite, une revue de la littérature dans la modélisation de la chaîne logistique est présentée. Enfin, un modèle mathématique adapté à une l'entreprise "Vitajus" relevant de l'industrie agroalimentaire est élaboré, la résolution du programme sera exécutée par la méthode "branch and bond " à l'aide d'un solveur et les résultats obtenus dans cette étude de cas sont présentés.

Chapitre1 :

Les concepts de logistique et de Supply Chain Management

Introduction

Depuis une trentaine d'année, du fait du contexte économique, la relation entre client et fournisseur a fortement évolué : renforcement du besoin de personnalisation des produits et services, raccourcissement des délais de livraison, multiplication des canaux de distribution,...

De plus, l'internationalisation des échanges et une concurrence exacerbée ont entraîné les entreprises à rechercher de nouvelles voies pour améliorer leurs performances, et répondre au mieux aux attentes de leurs clients.

Face à ces enjeux les entreprises doivent remettre en cause leurs organisations, en décloisonnant les différents services. Les notions de flux physiques et flux d'information, tout au long de la chaîne logistique prennent tout leur sens, et la logistique constitue en ce sens une réponse complète et adaptée.

La logistique consiste donc de plus en plus à améliorer les flux sur une chaîne étendue (Supply Chain) qui va du fournisseur du fournisseur au client du client. Le logisticien doit ainsi assurer un dialogue avec tous les partenaires internes et externes de l'entreprise, afin de coordonner les opérations relatives aux flux de matière, de composant, de produits finis, et aux flux d'informations.

Elle est donc présente à tous les niveaux de l'entreprise, aussi bien au niveau opérationnel (pour la gestion des flux physiques, de marchandises par exemple), au niveau tactique (pour définir les organisations et piloter ces flux à moyen terme), qu'au niveau stratégique (pour définir les grandes orientations à long terme).

Remarque: Dans ce qui suit, on entend par Supply Chain la chaîne logistique étendue.

1. Définition de la logistique d'entreprise :

Le mot « logistique » apparaît en France au XVIII^{ème} siècle, lorsque les problèmes de soutien à la stratégie militaire (réapprovisionnement en armes, munitions, vivres, chevaux, uniformes, chaussures...) ne furent plus négligés. Ce terme s'est ensuite répandu, dans le milieu industriel notamment, pour évoquer principalement la manutention et le transport de marchandises.

Jusqu'aux années 70, la logistique n'avait que peu d'importance dans la gestion des entreprises, considérée comme une fonction secondaire, limitée aux tâches d'exécution dans les entrepôts et sur les quais d'expédition. Mais la logistique est ensuite comprise comme un lien opérationnel entre les différentes activités de l'entreprise, assurant la cohérence et la fiabilité des flux-matière, en vue d'assurer une qualité de service aux clients, tout en permettant l'optimisation des ressources et la réduction des coûts.

Jadis locale et basique, la logistique devient au milieu des années 90, une fonction globalisée et même mondialisée. Elle concerne la gestion des flux physiques dans une vision complète de la chaîne Clients/Fournisseurs, et constitue véritablement une nouvelle discipline du management des entreprises.

La « logistique globale » représente ainsi l'ensemble des activités internes ou externes à l'entreprise qui apportent de la valeur ajoutée aux produits et des services aux clients (**Courty, 2003**).

Bien qu'on trouve une définition " historique " en 1948, avec le comité des définitions de l'American Marketing Association proposant : « mouvement et manutention de marchandises du point de

production au point de consommation ou d'utilisation ». Il aura fallu attendre 1962, avec la création aux Etats-Unis du Conseil National de la Gestion de la Distribution Physique, pour avoir une définition " officielle " de la logistique d'entreprise.

Nous retiendrons donc une définition récente relative au management de la logistique d'entreprise : « Le management de la logistique est cette fraction du management de la supply chain qui prévoit, met en place et maîtrise de façon efficiente et efficace les flux aller et retour de marchandises, leur entreposage, les services et les informations associées, entre le point d'origine et le point de consommation, de manière à satisfaire les exigences du client ». Council of Supply Chain Management Professionals (CSCMP, 2005).

Il est intéressant de noter l'évolution des définitions de la logistique d'entreprise au cours du temps, passant d'une approche très fonctionnelle et isolée à des notions de management de processus, de gestion des interfaces et d'optimisation de flux globaux. Nous noterons également avec un grand intérêt que ces différentes définitions font largement allusion aux biens tangibles et très peu au management spécifique des services.

2. Définition de la chaîne logistique (Supply Chain – SC) :

Le terme « chaîne logistique » vient de l'anglais Supply Chain qui signifie littéralement « chaîne d'approvisionnement ». Elle contient toutes les activités, liées au flux et à la transformation des produits, depuis la phase matière première (extraction) à la livraison du produit fini au consommateur, en passant par toutes les étapes intermédiaires, ainsi que les flux d'informations associés.

Elle comprend toutes les parties impliquées, directement ou indirectement, dans la satisfaction de la demande du client (elle inclut toutes les fonctions impliquées dans la réception et la satisfaction de la demande du client, au sein d'une organisation).

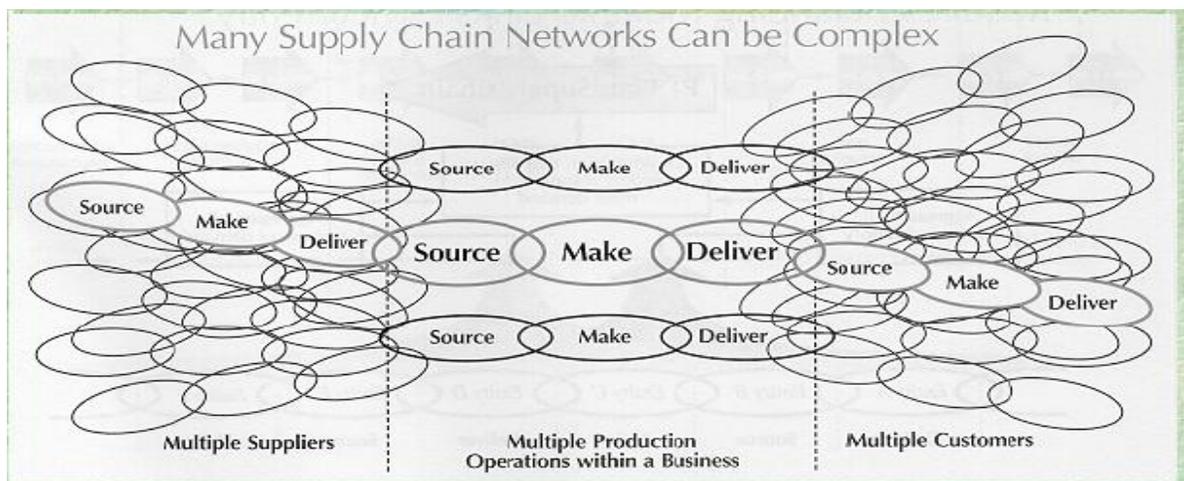


Figure 1 : Réseaux de la chaîne logistique

Il existe une multitude de définitions de la « chaîne logistique » ; il n'y a pas une définition universelle de ce terme.

Dans ce qui suit, nous recensons selon un ordre chronologique quelques-unes des définitions rencontrées dans la littérature :

- 1) **Christopher, 1992** : « La chaîne logistique peut être considérée comme le réseau d'entreprises qui participent, en amont et en aval, aux différents processus et activités qui créent de la valeur sous forme de produits et de services apportés au consommateur final. En d'autres termes, une chaîne logistique est composée de plusieurs entreprises, en amont (fourniture de matières et composants) et en aval (distribution), et du client final ».
 - 2) **Lee et Billington, 1993** : « La chaîne logistique est un réseau d'installations qui assure les fonctions d'approvisionnement en matières premières, de transformation de ces matières premières en composants puis en produits finis, et de distribution des produits finis vers le client ».
 - 3) **La Londe et Masters, 1994** : « Une chaîne logistique est un ensemble d'entreprises qui se transmettent des matières. En règle générale, plusieurs acteurs indépendants participent à la fabrication d'un produit et à son acheminement jusqu'à l'utilisateur final - producteurs de matières premières et de composants, assembleurs, grossistes, distributeurs et transporteurs sont tous membres de la chaîne logistique ».
 - 4) **Ganeshan et al, 1998** : « Une chaîne logistique est un réseau d'entités de production et de sites de distribution qui réalise les fonctions d'approvisionnement de matières, de transformation de ces matières en produits intermédiaires et finis, et de distribution de ces produits finis jusqu'aux clients. Les chaînes logistiques existent aussi bien dans les organisations de service que de production, bien que la complexité de la chaîne varie d'une industrie à l'autre et d'une entreprise à l'autre ».
 - 5) **Tayur et al, 1999** : « Un système de sous-traitants, de producteurs, de distributeurs, de détaillants et de clients entre lesquels s'échangent les flux matériels dans le sens des fournisseurs vers les clients et des flux d'information dans les deux sens ».
 - 6) **Rota-Franz, 1998 ; Rota-Franz et al., 2001** : « La chaîne logistique d'un produit fini se définit comme l'ensemble des entreprises qui interviennent dans les processus de fabrication, de distribution et de vente du produit, du premier des fournisseurs au client ultime. Le produit considéré est, dans le domaine aéronautique, l'avion qui peut être qualifié de produit système étant donné sa complexité ».
 - 7) **Stadlter et Kilger, 2000** : « Une chaîne logistique est constituée de deux ou plusieurs organisations indépendantes, liées par des flux physique, informationnel et financier. Ces organisations peuvent être des entreprises produisant des composants, des produits intermédiaires et des produits finis, des prestataires de service logistique et même le client final lui-même ».
 - 8) **Mentzer et al, 2001** : « Une chaîne logistique est un groupe d'au moins trois entités directement impliquées dans les flux amont et aval de produits, services, finances et/ou information, qui vont d'une source jusqu'à un client ».
- 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. Si l'objectif de satisfaction du client est le même, la complexité varie d'une chaîne logistique à l'autre ».

- 10) **Lummus et Vokurka, 1999** : « 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 ».

Ces définitions peuvent cependant se catégoriser suivant leur orientation principale. La chaîne logistique peut ainsi se définir en tant que :

- Succession de relations Client/Fournisseur [**Tayur et al, 1999**];
- Succession d'activités de création de valeur (figure 1) [**La Londe et Masters, 1994**];
- fonctions ou processus : approvisionnement, transformation, distribution [**Lee et Billington, 1993**].

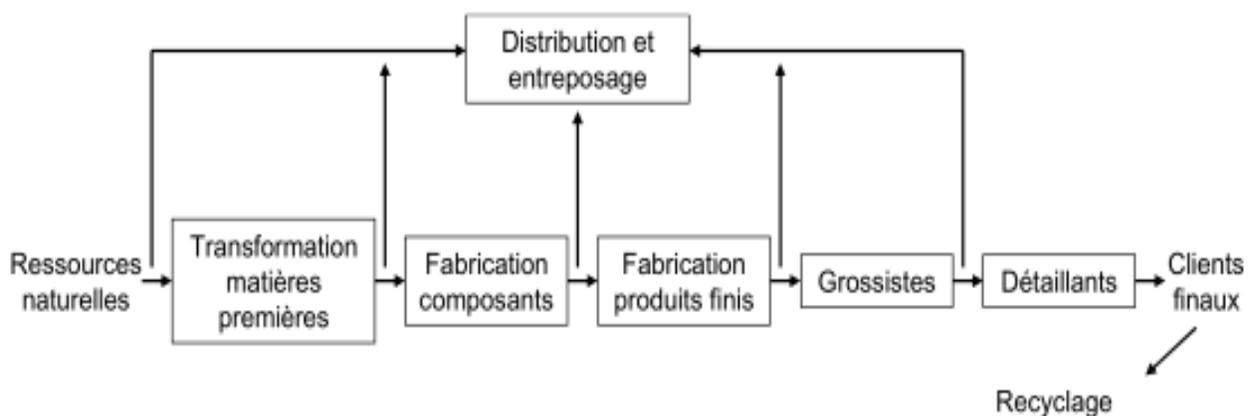


Figure 2 : Activités et entreprises de la chaîne logistique, d'après **La Londe et Masters (1994)**

3. Structure physique de la chaîne logistique :

La structure topologique d'une chaîne logistique peut prendre différentes formes, en particulier deux topologies élémentaires de réseaux :

- 1) **Structure convergente** : c'est le cas de la filière automobile si l'entreprise considérée est un constructeur de voitures, ses fournisseurs de rang 1 sont des équipementiers (carrosserie, siège, pare-brise,...), les fournisseurs de rang 2 sont, par exemple pour les sièges, les fournisseurs de matériaux textiles,...
- 2) **Structure divergente** : le cas est fréquent dans l'industrie électronique si l'entreprise considérée est un fournisseur de cristaux de silicium, les clients de rang 1 sont des constructeurs de puces, les clients de rang 2 sont des constructeurs de circuits intégrés, enfin, les clients de rang 3 sont par exemple les assembleurs de téléphones mobiles.

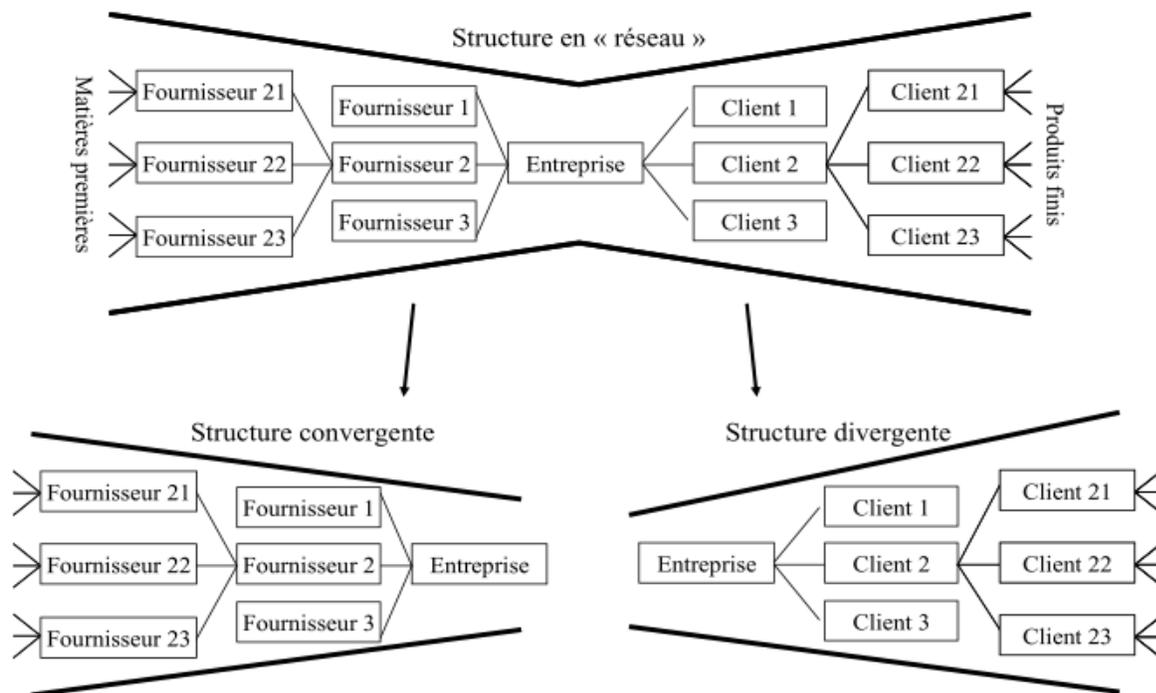


Figure 3 : Structures élémentaires d'une chaîne logistique d'après (Croom et al. 2000, Lambert. 2000, Min et al. 2002, Huang et al. 2003)

La plupart des chaînes logistiques combinent ces deux structures élémentaires. En effet, une structure purement convergente signifie l'absence de réseaux de distribution pour la vente des produits.

Ainsi, pour la filière automobile, la chaîne est convergente pour toute la partie production, mais il existe une chaîne aval correspondant aux concessionnaires et autres points de vente de véhicules. De même, une structure purement divergente est improbable, car cela signifierait que le produit fini ne découle que d'un fournisseur en amont...

Généralement, la topologie d'une chaîne logistique est donc de type « réseau » (figure 2), avec des ramifications plus ou moins grandes. Ainsi certaines chaînes logistiques peuvent s'avérer très étendues, en particulier pour des produits complexes : une entreprise peut ainsi se trouver en rapport avec plusieurs centaines de fournisseurs.

Pour les grands réseaux, il est possible de classer les acteurs de la chaîne en deux catégories : les membres essentiels (acteurs industriels majeurs contribuant à l'élaboration du produit) et les membres secondaires (consultants, banques, partenaires de recherche, ...) [Lambert et Cooper, 2000 ; Min. et Zhou, 2002].

Pour la recherche de performances, on peut se concentrer sur les membres essentiels seulement et même sur certaines relations uniquement, notamment les relations avec les fournisseurs des composants les plus onéreux ou les plus critiques. On peut donc restreindre le réseau à optimiser.

L'étude peut se porter aussi sur une seule relation client-fournisseur (chaîne minimale ou structure dite dyadique, en itérant ensuite le raisonnement sur l'ensemble des relations présentes dans une véritable chaîne logistique [Kehoe et Boughton, 2001].

4. Gestion de la chaîne logistique (Supply Chain Management)

Une chaîne logistique existe dès lors qu'au moins deux entreprises travaillent sur l'achèvement d'un produit donné. On peut parler de gestion de la chaîne logistique si et seulement si cette association est délibérément pilotée en vue d'en maximiser la performance.

Il existe une distinction entre la « chaîne logistique » et la « gestion de la chaîne logistique » (SCM-Supply Chain Management).

Ici encore, on relève plusieurs définitions de la gestion de la chaîne logistique et de nombreux auteurs soulignent la difficulté de définir le SCM. Voici quelques définitions :

- 1) **Jones et Riley, 1985** : « La gestion de la chaîne logistique est une approche intégrative pour s'accorder sur la planification et le contrôle du flux physique depuis les fournisseurs jusqu'à l'utilisateur final ».
- 2) **Berry et al, 1994** : « La gestion de la chaîne logistique vise à construire une confiance, à échanger des informations sur les besoins du marché, à développer de nouveaux produits et à réduire la base de fournisseurs d'une entreprise afin de libérer des ressources de gestion pour le développement de relations significative sur le long terme ».
- 3) **Thomas et Griffin, 1996** : « La gestion de la chaîne logistique est la gestion des flux de marchandises et d'informations à la fois dans et entre les sites tels que les points de vente, les centres de distribution et les usines de production et d'assemblage ».
- 4) **Tan et al, 1998** : « La gestion de la chaîne logistique englobe la gestion des approvisionnements et des marchandises depuis les fournisseurs de matières premières jusqu'au produit fini (et aussi de son éventuel recyclage). La gestion de la chaîne logistique se focalise sur la façon dont les entreprises utilisent les processus, la technologie et l'aptitude à améliorer la compétitivité de leurs fournisseurs. C'est une philosophie de management qui prolonge les activités classiques intra-entreprise, rassemblant l'ensemble des partenaires commerciaux avec un but commun d'optimisation et d'efficience ».
- 5) **Simchi-Levi et al, 2000** : « La gestion d'une chaîne logistique (ou Supply Chain Management) est un ensemble d'approches utilisées pour intégrer efficacement les fournisseurs, les producteurs, les distributeurs, de manière à ce que la marchandise soit produite et distribuée à la bonne quantité, au bon endroit et au bon moment dans le but de minimiser les coûts et d'assurer le niveau de service requis par le client ».
- 6) **Geunes et Chang, 2001** : « La gestion de la chaîne logistique est la coordination et l'intégration des activités de la chaîne logistique avec l'objectif d'atteindre un avantage compétitif viable. La gestion de la chaîne logistique comprend donc un large panel de problématiques stratégiques, financières et opérationnelles ».

- 7) **Rota-Franz et al, 2001** : « Faire du “Supply Chain Management” signifie que l’on cherche à intégrer l’ensemble des moyens internes et externes pour répondre à la demande des clients. L’objectif est d’optimiser de manière simultanée et non plus séquentielle l’ensemble des processus logistiques ».
- 8) **Dominguez et Lashkari, 2004** : « L’intérêt du Supply Chain Management (SCM) est de faciliter les ventes en positionnant correctement les produits en bonne quantité, au bon endroit, et au moment où il y en a besoin et enfin à un coût le plus petit possible. Le principal objectif du SCM est d’allouer efficacement les ressources de production, distribution, transport et d’information, en présence d’objectifs conflictuels, dans le but d’atteindre le niveau de service demandé par les clients au plus bas prix ».
- 9) **Christopher, 2005** : « Le supply chain management peut se définir comme la gestion des relations en amont et en aval avec les fournisseurs et les clients afin de fournir une valeur client supérieure à un coût moindre sur l’ensemble de la chaîne logistique ».

Dans certaines définitions, il est question de chaîne logistique intra- ou inter-entreprises. Une chaîne logistique intra-entreprises est un réseau de sites de production géographiquement dispersés, mais qui appartiennent tous à une même entreprise-mère. Ce type de réseau est souvent appelé « entreprises multi-sites ». A contrario, une chaîne logistique inter-entreprises est un réseau d’entreprises économiquement et juridiquement indépendantes [Stadtler et Kilger, 2000]. Dans ce cas, le dilemme entre confidentialité des données et recherche d’une performance globale s’avère être un problème de fond.

Dans toutes les définitions précédentes, la notion de chaîne logistique est bien sûr présente à travers les termes de « réseaux d’entreprises » ou « réseaux d’entités ». L’aspect gestion se fait plutôt ressentir comme une façon d’intégrer et de faire interagir toutes ces entreprises entre elles.

Ainsi, on schématise (figure 3) la gestion de la chaîne logistique comme des activités transverses (Gestion des demandes, Réalisation des commandes, Gestion du flux des produits,...) qui interagissent avec toutes les activités propres à chaque entreprise traversée (Production, Achat, Logistique...). La communication entre les acteurs reste capitale comme le montre le flux d’information qui traverse l’ensemble de la chaîne logistique [Cooper et al, 1997 ; Lambert et Cooper, 2000].

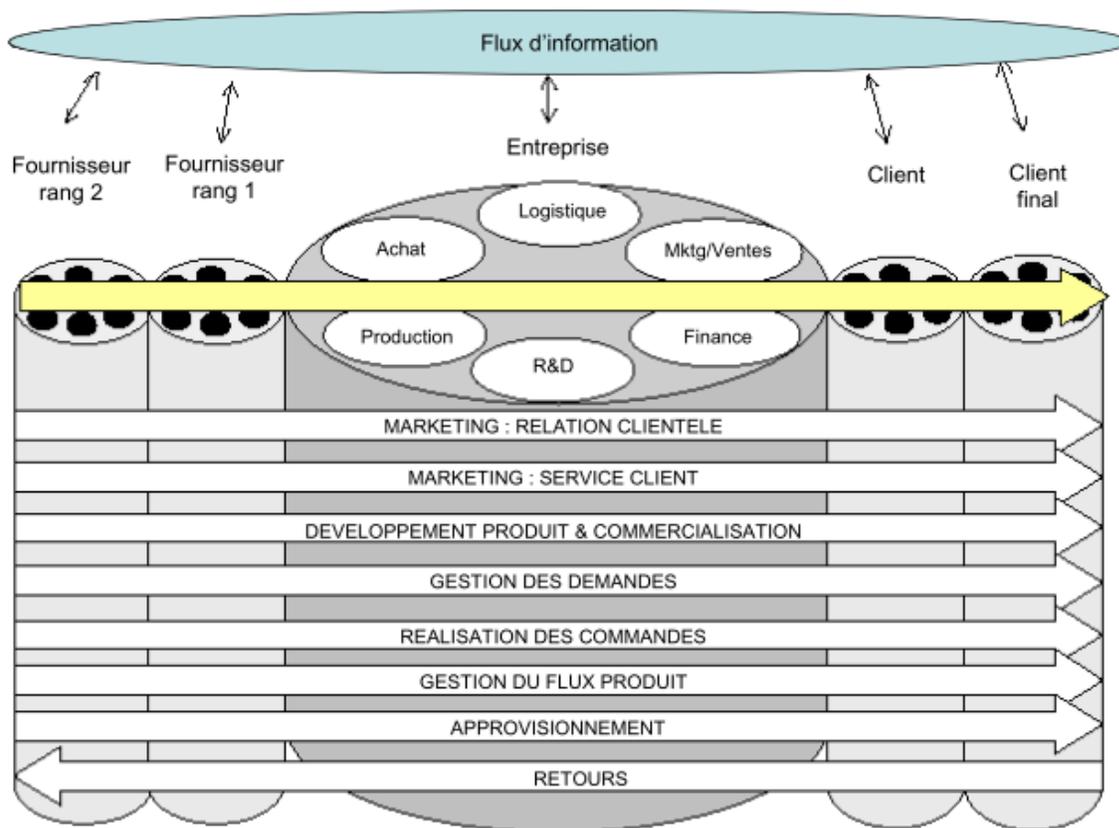


Figure 4 : Supply Chain Management d'après Cooper et al, 1997

Le Council of Supply Chain Management Professionals (CSMP) le définit comme suit :

« le management de la supply chain comprend la prévision et le management de toutes les activités relevant de la recherche de fournisseurs, de l'approvisionnement, de transformation et toutes les activités du management logistique. De façon essentielle, il inclut la coordination et la coopération avec les partenaires de la chaîne qui peuvent être les fournisseurs, les intermédiaires, les prestataires de services logistiques et les clients. Par essence, le supply chain management intègre le management de l'offre et de la demande dans et entre les entreprises ».

Le principal objectif du SCM est d'améliorer la compétitivité industrielle en minimisant les coûts, en assurant le niveau de service requis par le client, en allouant efficacement les activités sur les acteurs de production, distribution, transport et d'information, en veillant à ce que les acteurs ne développent pas de comportements locaux antagonistes venant grever la performance globale.

5. Les trois flux de la chaîne logistique

Nous détaillons ici les trois flux traversant une chaîne logistique : flux d'information, physique et financier.

Ces trois flux peuvent découler des règles stipulées dans le contrat de partenariat. En effet, des contrats définissant les relations entre chaque entreprise de la chaîne logistique, prévoyant notamment des pénalités en cas de retard de livraison ou de rupture de stock, déterminant qui gère le transport et les stocks entre deux « maillons » de la chaîne.

5.1 Le flux d'information

Le flux d'information représente l'ensemble des transferts ou échanges de données entre les différents acteurs de la chaîne logistique. Il s'agit en premier lieu des informations commerciales, notamment les commandes passées entre clients et fournisseurs.

Une commande comprend généralement la référence du produit, la quantité commandée, la date de livraison souhaitée et le prix éventuellement négocié lors de la vente. D'autres éléments peuvent s'ajouter à cette liste : la liste des options désirées pour le produit, la fréquence de livraison si besoin.

Mais les entreprises s'échangent aussi des informations plus techniques : paramètres physiques du produit, gammes opératoires, capacités de production et éventuellement de transport, informations de suivi des niveaux de stock. Ces dernières sont de plus en plus réclamées par les clients qui souhaitent connaître l'état d'avancement de fabrication de leur produit.

De manière plus générale, le principe de traçabilité se traduit par un droit de regard accru du client envers le fournisseur [Dupuy et al, 2004].

Le flux d'information est de plus en plus rapide grâce aux progrès des TIC. Le développement des flux d'information au sein de la chaîne logistique trouve ses limites dans le besoin de confidentialité entre acteurs. Par ailleurs, le problème de la qualité des données véhiculées subsiste, et le risque existe que des décisions soient basées sur des données erronées ou simplement périmées.

5.2 Le flux physique

Le flux physique est constitué par le mouvement des marchandises transportées et transformées depuis les matières premières jusqu'aux produits finis en passant par les divers stades de produits semi-finis.

Il justifie l'organisation d'un réseau logistique, c'est-à-dire les différents sites avec leurs ressources de production, les moyens de transports pour relier ces sites et les espaces de stockage nécessaires pour pallier les aléas et faire tampon entre deux activités successives.

En bref, l'écoulement du flux physique résulte de la mise en œuvre des diverses activités de manutention et de transformation des produits quel que soit leur état.

Le flux physique est généralement considéré comme étant le plus lent des trois flux.

5.3 Le flux financier

Le flux financier concerne toute la gestion pécuniaire des entreprises : ventes des produits, achats de composants ou de matières premières, mais aussi des outils de production, de divers équipements, de la location d'entrepôts, ... et bien sûr du salaire des employés.

Le flux financier est généralement géré de façon centralisée dans l'entreprise dans le service financier ou comptabilité, en liaison toutefois avec la fonction production par les services achats et le service commercial.

Sur le long terme, il correspond aussi aux investissements lourds tels que la construction de nouveaux bâtiments et de lignes de fabrication. Encore s'agit-il d'échanges avec des organismes bancaires extérieurs au réseau d'entreprises.

6. Les principaux processus de la chaîne logistique

Un processus opérationnel (ou Business Process, en anglais) est un ensemble d'activités qui définit des rôles et des relations, et qui systématise l'organisation et la politique d'une entreprise dans le but d'atteindre certains des objectifs de cette entreprise.

Les quatre processus principaux d'une entreprise sont: l'approvisionnement, la production, la distribution et la vente.

[Stadtler et Kilger, 2000] se réfèrent à ces quatre processus-clés pour proposer la classification SCP-Matrix des tâches de planification (figure 4) en fonction des niveaux décisionnels.

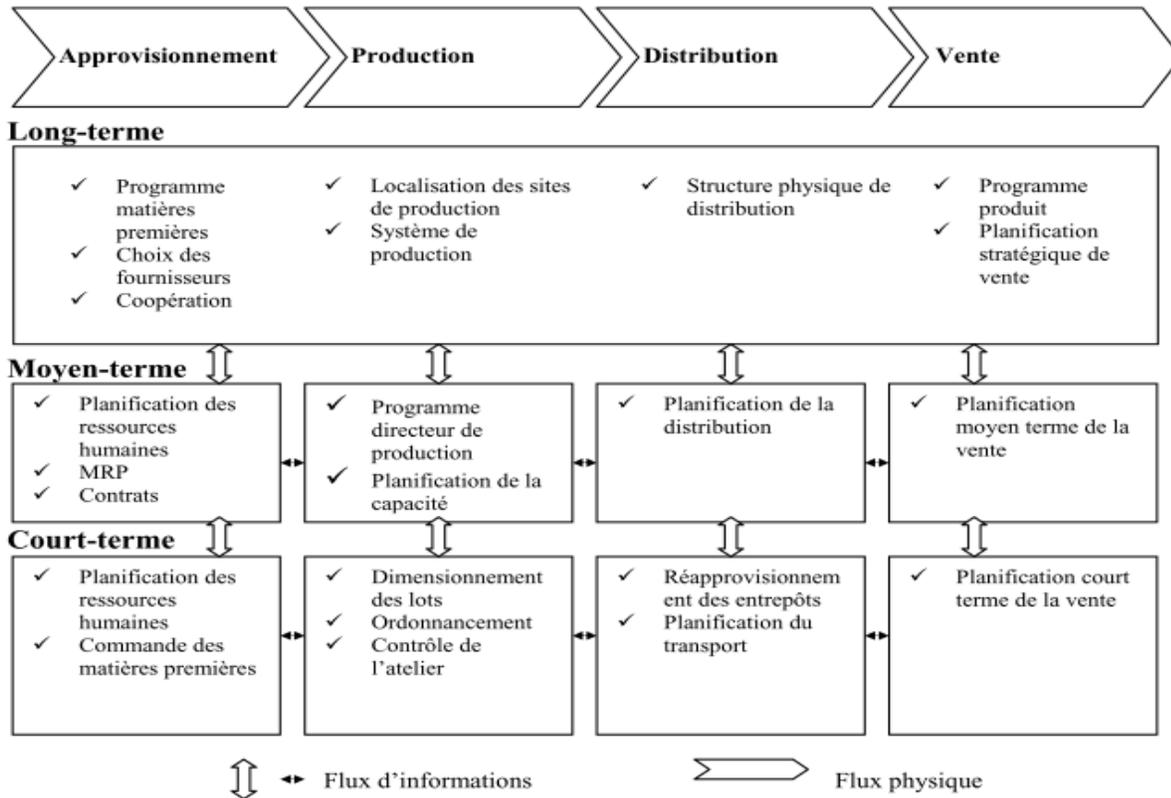


Figure 5 : SCP-Matrix, d'après Stadtler et Kilger, 2000

6.1. Le processus Approvisionnement

Le processus Approvisionnement se concentre sur la fourniture de tous les composants nécessaires à la fabrication. Deux grandes phases sont ici à distinguer. La première phase consiste à sélectionner les fournisseurs de l'entreprise. Le choix des fournisseurs peut se faire sur différents critères comme la qualité, le prix, les délais de réapprovisionnement des matières premières ou composants, mais aussi leur capacité de production, leur facilité à accepter une demande très variable, leur possibilité de faire évoluer techniquement les composants... Il est possible de sélectionner un fournisseur unique par produit ou, au contraire, des sources multiples qui se partagent la demande, en minimisant ainsi le risque de rupture de livraison.

Les fournisseurs étant déterminés, la seconde phase du processus Approvisionnement consiste à passer les commandes des composants à ces fournisseurs en fonction de la production à réaliser. Il s'agit aussi

de vérifier que ces composants sont livrés dans de bonnes conditions, c'est-à-dire de vérifier que la livraison comporte les bons composants, de qualité requise, en quantité conforme et au bon moment.

Le processus Approvisionnement regroupe ainsi toutes les relations avec les fournisseurs pour assurer les niveaux de stocks en composants nécessaires et suffisants pour la fabrication

6.2. Le processus Production

Le processus Production concerne l'ensemble des transformations que vont subir les composants pour réaliser les produits finis de l'entreprise. L'objectif du processus Production est de fabriquer les produits requis tout en assurant la productivité du système (notamment par un taux élevé d'utilisation des ressources mobilisées).

Les méthodes utilisées pour la gestion de la production cherchent à améliorer le flux des produits dans les ateliers de fabrication à travers la planification et l'ordonnancement, la détermination de la taille optimale des lots de production, la détermination des séries économiques. Des approches multi-niveaux ont été développées dans le but de réduire la complexité des problèmes d'optimisation : planification multi-niveaux ([Hétreux, 1996], [Lecompte-Alix, 2001]), ordonnancement hiérarchisé ([Hatchuel et al., 1997; Fontan et al, 2005]...). La principale difficulté dans l'exercice de la planification est la gestion de l'incertitude des informations [Stadler et Kilger, 2000]. Les données utilisées, telles que les plans de demandes, sont en effet issues de modèles de prévisions hypothétiques. De ce fait, la disponibilité des produits et des ressources de production en situation réelle, et par suite, le niveau de service ne sont pas toujours « au rendez-vous ».

6.3. Le processus Distribution

Le processus Distribution concerne la livraison des produits finis aux clients et reprend les questions d'optimisation des réseaux de distribution : l'organisation et le choix des moyens de transport, le choix du nombre d'étages (ou d'intermédiaires) dans le réseau de distribution ainsi que le positionnement des entrepôts et leur mode de gestion. Par exemple, les produits peuvent être acheminés en nombre par train et regroupés dans un entrepôt pour être livrés ensuite par camion aux clients d'une même zone géographique, en vue du meilleur compromis entre qualité de service et coût économique.

6.4. Le processus Vente

Le processus Vente, mis en œuvre par le service commercial, développe les relations envers le client (négociation des prix et des délais, enregistrement des commandes, ...) et par extension, recherche une meilleure connaissance du marché. Ce processus de l'entreprise est également chargé de définir la demande prévisionnelle et d'intégrer des aspects commerciaux comme la durée de vie du produit pour anticiper l'évolution de ses ventes. Les aspects marketing (analyse de marché, publicité, promotions, ...) sont aussi gérés dans ce processus.

6.5. Interactions entre les processus et autres « services »

Les quatre processus-clés de l'entreprise doivent interagir afin de prendre des décisions cohérentes sur l'ensemble de l'entreprise. Par exemple, le processus Vente communique régulièrement le carnet de demandes des clients au processus Approvisionnement pour que celui-ci prépare les achats de composants. Les processus Production et Distribution suivent les niveaux de stocks (composants, en-cours) dans les différents entrepôts et renseignent le processus Approvisionnement... Les processus Approvisionnement, Production et Distribution doivent aussi se coordonner pour la régulation des stocks et notamment pour la détermination de stocks de sécurité qui permettent de faire face aux aléas de la production (panne, production de mauvaise qualité,...) et à l'incertitude de la demande (prévisions).

[Tan, 2001] met en avant l'importance de la gestion des stocks dans une entreprise (et même dans la chaîne logistique) en se focalisant sur les gains que l'on peut espérer en améliorant les processus de gestion des stocks par un meilleur système d'information qui prend en compte leur localisation et leur état (en attente, en-cours de fabrication ou fabriqué, dans une perspective de suivi d'activité) ou par une meilleure prévision de la demande client. Il faut aussi assurer le réajustement périodique des plans de production en fonction du suivi de la demande et de la production réelle : des calculs réguliers ou périodiques correspondent à une planification à horizon glissant. Par contre, dans la planification orientée événements, les plans ne sont pas faits dans des intervalles de temps réguliers, mais plutôt lors d'un événement important tel que la panne d'une machine ou des événements importants dans les commandes des clients. Une telle procédure demande une mise à jour continue des données nécessaires à la planification (stocks, en-cours,...), afin que celles-ci soient disponibles lorsqu'un événement survient.

D'autres services annexes sont également nécessaires dans les entreprises : service des ressources humaines, service comptabilité, service conception ou bureau d'étude pour l'amélioration des produits ou l'élaboration de nouveaux produits, ... sans oublier le service après vente, pour gérer le retour des produits défectueux, leur réparation, voire leur destruction et/ou leur recyclage.

Parmi ces processus, certains sont fondamentaux pour interfacer les entreprises entre elles. A l'évidence, dans une relation client-fournisseur, le processus Vente de l'entreprise « fournisseur » est en relation directe avec le processus Achat de l'entreprise « client ». Et c'est justement ce lien, certes ancestral dans l'histoire de l'économie, qui, étendu à un partenariat multi-entreprises, est à l'origine de la notion de Chaîne Logistique.

7. Les différentes approches en gestion de chaînes logistiques

Avec l'évolution du niveau d'intégration de la chaîne logistique, c'est à dire de sa complexité, sa gestion a fait apparaître différentes approches au cours du temps :

7.1. Une approche partielle et morcelée

Une première approche est une vision partielle et morcelée de la gestion de la chaîne logistique centrée sur les fonctions d'approvisionnement, de production et de distribution physique des biens. A ce niveau d'intégration, il s'agit plus de logistique que de gestion de la chaîne logistique. . (Eppen, 1979 ;

Federgruen et al., 1984 ; Lal et al., 1984 ; Sethi, 1984 ; Banerjee, 1986 ; Lee et al., 1986 ; Salomon, 1991 ; Badinelli, 1992 ; Anupindi et al., 1993 ; Mc-Gavin et al., 1993 ; Chen et al., 1994 ; Lau et al., 1994 ; Van Eijs, 1994 ; Weng, 1995 ; Graves., 1996...).

7.2. Une approche interne

Une seconde approche consiste à travailler sur les relations à l'intérieur de l'entreprise entre les fonctions d'approvisionnement, de production et de distribution (Un des premiers modèles a été développé au sein de la société Hewlett Packard : **(Billington et al., 1992 ; Davis, 1993 ; Lee et Billington, 1993 ; Lee et al 93b ; Lee et Billington,1995).**

7.3. Une approche multi-sites interne

Une troisième approche consiste à travailler sur les relations entre plusieurs sites d'une même entreprise voire en intégrant quelques fournisseurs ou clients directs de cette entreprise. Les logiciels de type APS (Advanced Planning Systems) qui visent à une optimisation globale du fonctionnement de la chaîne logistique d'une entreprise se situent dans cette catégorie. **(Arntzen et al., 1995 ; Lee et Sasser, 1995 ; Stadler et Kilger, 2000...).**

7.4. Une approche intégrée

Une quatrième approche consiste à travailler au niveau d'une entreprise au sein de la (des) chaîne(s) logistique(s) à laquelle (auxquelles) elle appartient, sur les relations avec les autres entreprises de la (des) chaîne(s) logistique(s). Parmi ce type d'approche, on distingue:

- Celles qui se focalisent sur la partie amont de la chaîne logistique : le réseau d'approvisionnement qui se définit comme un réseau d'entreprises échangeant des matières et de l'information, dans le cadre d'activités menant à la livraison des produits/services au client. Ces approches traitent de la gestion du réseau d'approvisionnement en s'intéressant essentiellement aux fonctions d'achats et d'approvisionnements industriels.
- Celles qui s'intéressent plus spécifiquement à la partie aval de la chaîne logistique de l'entreprise. Ces approches s'intéressent essentiellement aux transports et aux réseaux de distribution vers les grossistes et les détaillants.
- Celles qui se positionnent aussi bien en amont (réseau d'approvisionnement) qu'en aval (réseau de distribution). On parle alors de gestion de la chaîne logistique intégrée. Parmi ces approches, on distingue celles qui s'intéressent aux chaînes logistiques directes et celles qui s'intéressent aux chaînes logistiques élargies **(Rota, 1998 ; Mentzer et al., 2001).**

7.5. Une approche globale

Une dernière approche s'intéresse à la chaîne logistique dite globale englobant tous les acteurs impliqués dans l'ensemble des flux amont et aval de produits, services, finances et/ou information, du dernier des fournisseurs au dernier des clients.

Conclusion :

Nous avons vu dans ce chapitre les notions de chaîne logistique et des trois flux qui la traversent (flux d'information, physique et financier), ainsi que les différentes formes que peut prendre la structure physique qui la constitue. Nous avons souligné l'importance du Supply Chain Management dans l'amélioration de la compétitivité industrielle avec une présentation des différentes approches de gestion des chaînes logistiques.

Dans le chapitre suivant, nous verrons les méthodes de modélisation et de simulation des chaînes logistiques, les outils et logiciels qui permettent leur réalisation.

Chapitre2 :

Modélisation et simulation des chaines
logistiques

Introduction

Il existe deux manières distinctes de modéliser une chaîne logistique : son langage de modélisation peut soit être développé en interne spécifiquement à une situation, soit être basé sur des langages de modélisation déjà existants. L'avantage de la première méthode est qu'elle est optimisée pour une situation précise et ne nécessite pas l'achat d'un logiciel de modélisation. Cependant cette modélisation n'est pas compatible avec les modèles existants « standards » et demande du temps pour être développée si son champ de modélisation est vaste (temps auquel il faut rajouter la période de correction des erreurs). La seconde méthode offre la possibilité de se reposer sur des modèles déjà éprouvés et améliorés et consolidés, et permet d'adopter un langage commun qui peut être étendue à toutes les branches de l'entreprise et à tous les sous-traitants si besoin. De plus il existe des spécialistes en cas de problème dans l'utilisation du modèle.

1. Présentation du supply-chain council et du modèle SCOR (Paul et Laville, 2007 ; SCC, 2011 ; Xiaolan XIE. 2011)

1.1. Le supply-chain council

Une première modélisation de la chaîne logistique peut être présentée par le modèle SCOR développé par le supply-chain council (SCC), qui est un consortium à but non lucratif créé en 1996 et composé initialement de 69 membres. Le but de ce consortium est de proposer un outil pour la méthodologie, le diagnostic et le benchmarking en vue d'augmenter l'efficacité globale de la chaîne logistique. Depuis 14 ans le SCC s'est considérablement développé et compte aujourd'hui environ 1000 membres, répartis sur 4 continents, dont une majorité d'entreprises transnationales, mais aussi des entreprises de moins grande envergure, des universités, des laboratoires de recherche, des organismes à but non lucratifs...

Le modèle SCOR est ainsi devenu la référence au niveau mondial pour évaluer et comparer les activités de la chaîne logistique et leurs performances. Une mise à jour et une évolution permanente des outils du SCOR sont réalisées par le SCC pour l'amélioration et la pérennité du modèle.

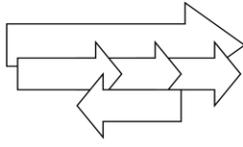
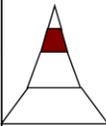
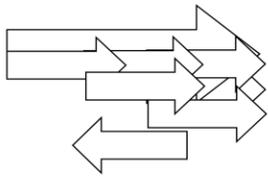
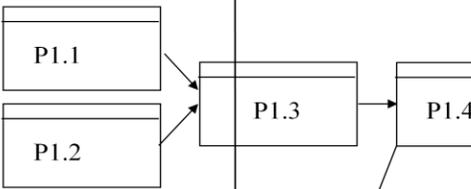
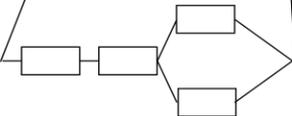
1.2. Le modèle SCOR

Le modèle SCOR est axé client, dans la mesure où il part du principe qu'il n'existe pas de chaîne logistique sans client. Il permet pour l'entreprise qui l'utilise de :

- Soutenir ses décisions stratégiques,
- fournir un cadre cohérent à la mesure de ses performances,
- contribuer aux opérations d'intégration interne et externe.

SCOR est un outil de modélisation par les processus (plus apte à répondre aux nouvelles contraintes économiques et financières que la vision par fonction), et « définit une démarche, des processus, des indicateurs et les meilleures pratiques du moment pour représenter, évaluer et diagnostiquer la chaîne logistique » [Paul et Laville, 2007]. Il a une démarche « top-down », c'est-à-dire qu'il débute son analyse par les processus les plus généraux pour ensuite se pencher vers les niveaux inférieurs.

Tableau 1 : Les 4 niveaux de modélisation SCOR.

#	Description	Sschématisation	Commentaires
	Niveau 1 : Type de processus		Le niveau 1 définit les limites et le contenu du modèle SCOR Les objectifs de performance et de la compétitivité sont définis à ce niveau
	Niveau 2 : Catégorie de processus		La configuration de la SC de l'entreprise est définie à ce niveau et peut comporter jusqu'à 24 catégories de processus La configuration du SC à ce niveau est le reflet de l'ensemble des opérations stratégiques de l'entreprise.
	 Niveau 3 : Processus décomposé		Le niveau 3 consiste à : -définir les éléments du processus -identifier les éléments d'entrées et de sorties de ces éléments du processus -identifier les indicateurs de performance -identifier et analyser les meilleures pratiques -mesurer l'aptitude de système à supporter les processus de références
	Niveau 4 : Décomposition de l'élément de processus		Au niveau 4 l'entreprise met en place les pratiques spécifiques de son SCM

L'utilisation proprement dite du modèle SCOR par l'entreprise se déroule suivant 3 étapes :
Tout d'abord l'entreprise doit se définir par rapport à son état actuel (suivant les 4 niveaux définis ci-dessus).

Puis elle se positionne dans son environnement grâce au benchmarking. Finalement une analyse des « Best Practices » est réalisée pour lui servir de modèle cible (Figure 4).

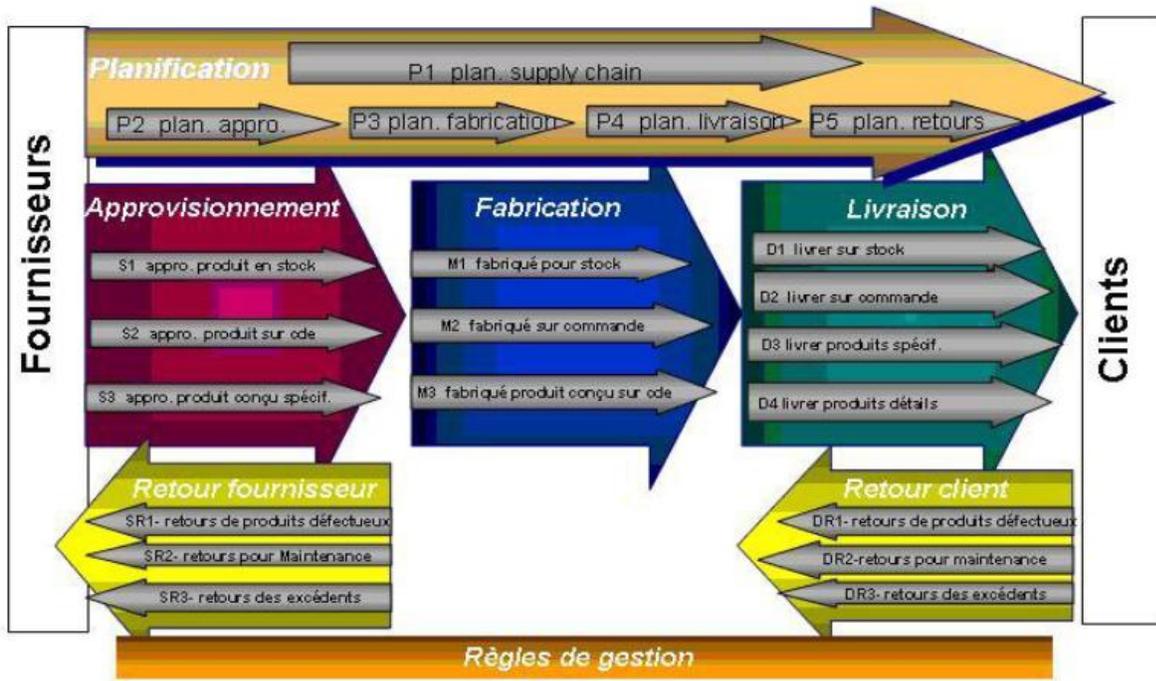


Figure 7 : Table de configuration : niveau 2 du modèle SCOR.

Finalement le modèle développé par le SCC propose des indicateurs clés financiers et de mesure de la performance. Ces derniers sont classés selon une structure hiérarchique adaptée à la spécificité de l’entreprise, et départagées en deux catégories fondamentales : Les performances perçues par le client, et les performances internes.

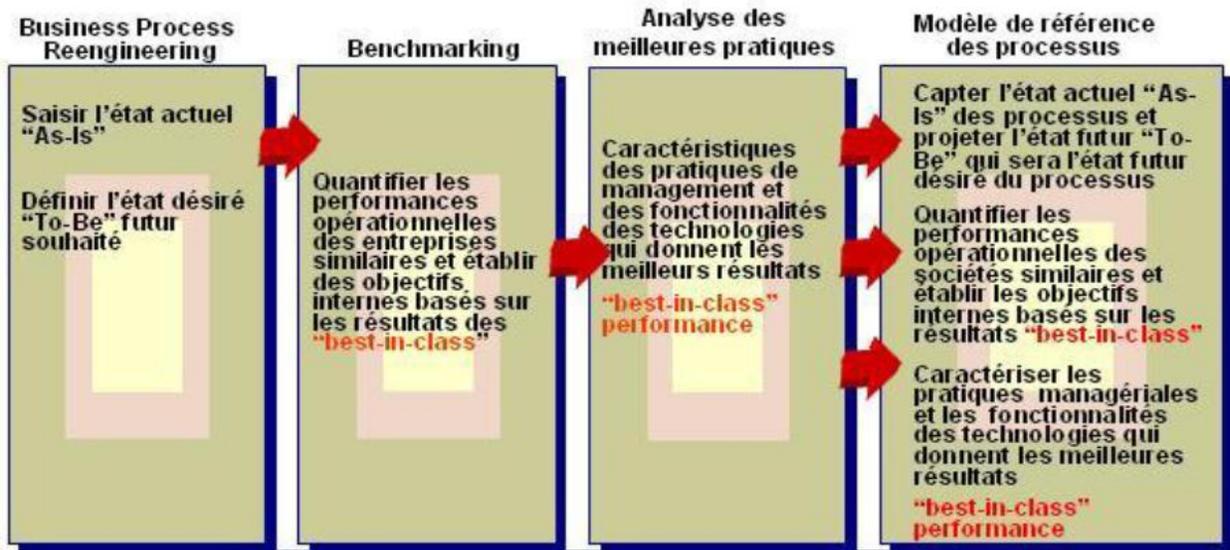


Figure 8 : Modèle de référence de processus.

Cependant, le modèle SCOR n’a pas pour but d’être le support d’une simulation informatique, dans la mesure où la modélisation est strictement qualitative (le modèle SCOR « ne propose pas de méthode

d'analyse complète et instrumentée pour une chaîne logistique particulière » (Valla et al , 2004). Pour autant, il propose un grand nombre de pratiques à mettre en place pour résoudre les défaillances, améliorer la chaîne logistique et la rendre plus robuste. Finalement les principaux atouts du modèle SCOR réside dans sa capacité à apporter à la chaîne logistique d'une entreprise et/ou d'un réseau d'entreprise une robustesse globale, une agilité, une résilience et une diminution du risque, ainsi qu'une compréhension, une vision et un langage commun entre tous les acteurs concernés, ce qui améliore de facto son efficacité.

Le modèle SCOR propose des indicateurs de performance (tableau 2.1), mais ne précise pas s'ils sont indépendants et cohérents entre eux. De plus, il ne donne pas de méthode pour les déployer à un niveau plus détaillé (désagrégation des indicateurs).

Les principaux indicateurs de performance préconisés par SCOR sont donnés dans le tableau suivant :

Tableau 2 : Exemples d'indicateurs de performance de la chaîne logistique

Activité processus /	Niveau Stratégique	Niveau Tactique	Niveau Opérationnel
Planification	Niveau de perception de la valeur du produit par le client, variances par rapport au budget, temps de commande, coût de traitement de l'information, profit net Vs ratio de la productivité, temps de cycle total, temps total de cash flow, temps de cycle de développement du produit	Temps de requête du client, temps de cycle de développement, fiabilité des techniques de prévisions, temps de cycle du processus de planification, méthodes de réception des commandes, productivité des ressources humaines	Méthodes de réception des commandes, productivité des ressources humaines
Approvisionnement		Performance de livraison des fournisseurs, temps de réponse des fournisseurs par rapport aux normes industrielles, prix des fournisseurs par rapport au prix du marché, efficacité du temps de cycle des ordres d'achat, efficacité de la méthode de cash flow	Efficacité du temps de cycle des ordres d'achat, prix des fournisseurs par rapport au prix du marché
Production	Portefeuille de produits/services	Pourcentage de rebut, coût par	Pourcentage de rebut, coût par

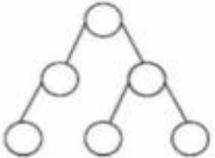
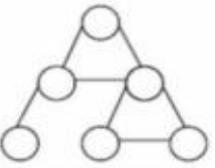
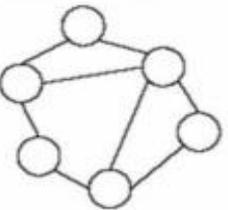
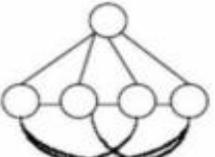
		heure de travail, utilisation de la capacité, utilisation des quantités économiques	heure de travail, indice de productivité des ressources humaines
Livraison	Flexibilité du système de service pour répondre aux besoins du client, efficience du plan de distribution de l'entreprise	Flexibilité du système de service pour répondre aux besoins du client, Efficience du plan de distribution de l'entreprise, efficacité des méthodes de facturation, pourcentage des produits finis dans le réseau, fiabilité des performances de livraison	Qualité des produits livrés, pourcentages des produits livrés à temps, efficacité des méthodes de facturation, nombre de factures de livraison sans fautes, pourcentages des livraisons urgentes, richesse des informations nécessaires pour effectuer les livraisons, fiabilité des performances de livraison

Ces indicateurs peuvent être regroupés sous forme d'un tableau de bord dit « prospectif » afin d'aider les décideurs à prendre les meilleures décisions, surtout au niveau stratégique, grâce à une meilleure vision sur le système à piloter.

2. Une approche structurée des modélisations de la chaîne logistique

Les différentes structures organisationnelles des systèmes logistiques peuvent être classées parmi 5 degrés d'organisation (Figure 5) définis selon la métrique EICM (Entreprise Integration Capability Model), proposée par Hollocks [VILLEMINOT, 2004] (rappelons que ce modèle peut être interprété de différentes manières, selon la notion auquel on le lie : structure organisationnelle, processus...).

Tableau 3 : des structures organisationnelles d'après (**Hollocks et al, 1997** ; **Neunreuther, 1998**)

<p>Niveau 1 : Structure organisationnelle fragmentée</p> 	<p>Cette architecture ne possède pas de structure. Il n'existe pas de lien entre les entités du système.</p>
<p>Niveau 2 : Structure organisationnelle hiérarchique</p> 	<p>Cette architecture possède une structure rigide. Ce sont les niveaux supérieurs qui pilotent la relation entre lui et le niveau inférieur. Les décisions sont prises unilatéralement en fonction de la hiérarchie.</p>
<p>Niveau 3 : Structure organisationnelle intégrée</p> 	<p>Une structure intégrée résulte de la coordination des fonctions autour d'un système d'information. Les fonctions hiérarchiquement supérieures ont donc une image informationnelle des niveaux inférieurs. C'est le cas par exemple de l'usine terminale qui connaît l'état de ses commandes de pièces (traitées, expédiées,...) par le biais des échanges de données informatiques (EDI)</p>
<p>Niveau 4 : Structure organisationnelle distribuée</p> 	<p>Il constitue des hétérahies dans lesquelles les entités ne sont plus subordonnées par des entités hiérarchiquement supérieures. Dans ces architectures, la coopération de ces entités dépend de leur interopérabilité (coopération de leurs services, ressources).</p>
<p>Niveau 5 : Structure organisationnelle holarchique</p> 	<p>A l'opposé des systèmes fragmentés, ces architectures dites « <i>intelligentes</i> » constituent la quintessence théorique entre les architectures distribuées et intégrées. La coopération dans de telles architectures est très forte. C'est le seul moyen de synchronisation des actions.</p>

Une liste exhaustive des modèles associés à chaque structure définie ci-dessus est proposée dans le tableau qui suit :

Tableau 4 : Interprétation de la métrique EICM pour les approches et les modèles associés.

Structure organisationnelle (EICM)	Fragmentée	Hiéarchique	Intégrée	Distribuée	Intelligente
Type d'approches	Absence	Cartésienne	Systemique	Ingénierie simultanée	Kénétique
Modèles associés		Réseau de files d'attente Réseau de Petri SADT – SART- UDEFO – IDEF3 ACNOS - PIF	Merise CIMOSA Aris-Toolset GRAI – GIM PERA GERAM SAGACE	TOVE IEM	Multi-agents Holonique (HMS) Réseau de neurones Fractal factory Agile-Lean manufacturing

2.1. Structure organisationnelle fragmentée

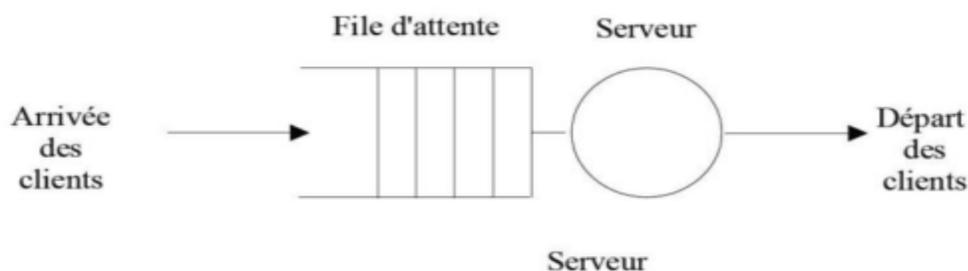
Dans la mesure où les entreprises ne collaborent pas pour mettre en place une coordination de leurs logistiques internes, il n'y a pas de chaîne logistique générale et donc aucune possibilité de modélisation. Ce type d'organisation est très peu compétitif pour les entreprises de taille moyenne, et tend à disparaître au profit d'organisations qui intègre la chaîne logistique. Les grandes entreprises et les entreprises internationales ont quant à elles déjà développé leur chaîne logistique, de manière plus ou moins marquée.

2.2. Structure organisationnelle hiérarchique

Ces modèles représentent les premières formes qu'a pris la chaîne logistique en occident : la maison mère centralise et a autorité sur ses sous-traitants. Le dialogue inter-entreprise n'existe pas, les règles et modalités de la chaîne logistique sont dictées aux autres maillons de la chaîne. Ces modèles sont donc rigides et ne prennent pas en compte les relations entre les différentes entreprises mises en jeu.

2.2.1. Réseau de files d'attente [Valois, 2003]

Les réseaux de files d'attente sont fréquemment utilisés pour modéliser des systèmes à événements discrets. Elle permet la modélisation du partage des ressources.

**Figure 9** : représentation graphique d'une file d'attente primaire.

La représentation ci-dessus (Figure 7) peut être étoffée par l'ajout de plusieurs utilisateurs (serveurs multiples) au bout de la file d'attente et d'une capacité limitée de la file d'attente. Le système entré sortie des clients peut être contrôlé (FIFO, LIFO, Random...). Les clients eux même peuvent être classés, puis ensuite répartis dans la file selon ce classement. Finalement le réseau de files d'attente est créé par la connexion d'un ensemble de files simples.

2.2.2. Réseau de Pétri [ENSM]

Le réseau de Pétri est un modèle mathématique à variables discrètes, créés en 1962 par Carl Adam Petri. Il se représente par un graphe biparti (composé de deux types de nœuds) orienté (composé d'arc(s)) reliant des places et des transitions (les nœuds). Deux places ne peuvent pas être reliées entre elles, ni deux transitions. Les places peuvent contenir des jetons (pouvant par la suite prendre différente valeurs), représentant généralement des ressources disponibles.

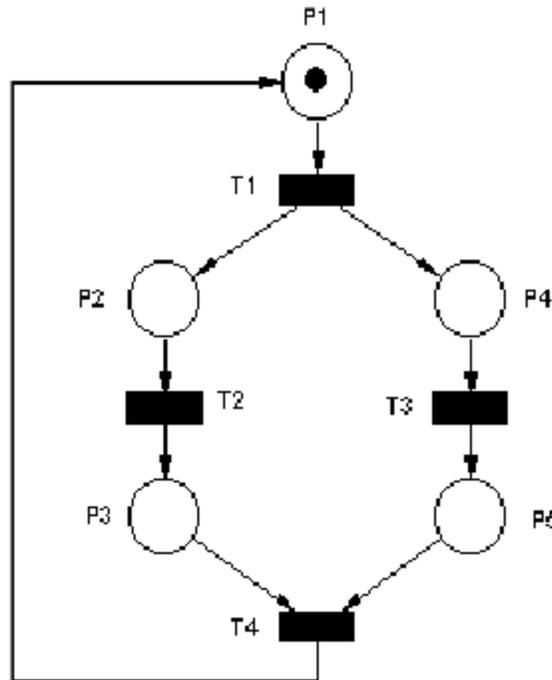


Figure 10 : Typologie de la modélisation graphique des réseaux de Pétri.

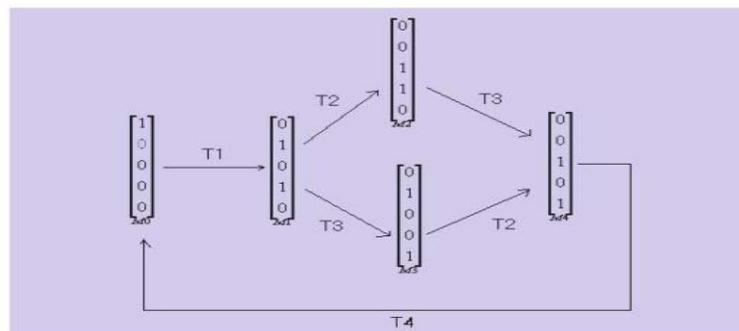


Figure 11 : représentation mi-mathématique du réseau de la Figure 8.

2.2.3.SADT (Structured Analysis and Design Technics) [SADT]

SADT est une technique structurée d'analyse et de modélisation. Les objectifs de la méthode sont d'établir les spécifications fonctionnelles de systèmes complexes, de permettre des échanges aisés avec l'utilisateur, de favoriser le travail en équipe grâce à une meilleure communication et enfin de permettre un couplage avec une méthode de conception (MACH). SADT veut apporter une meilleure clarté, robustesse et validité lors de la phase de spécification. Cependant cette méthode ne remplace pas la phase d'analyse et ne propose pas de formalisme permettant des vérifications sémantiques.

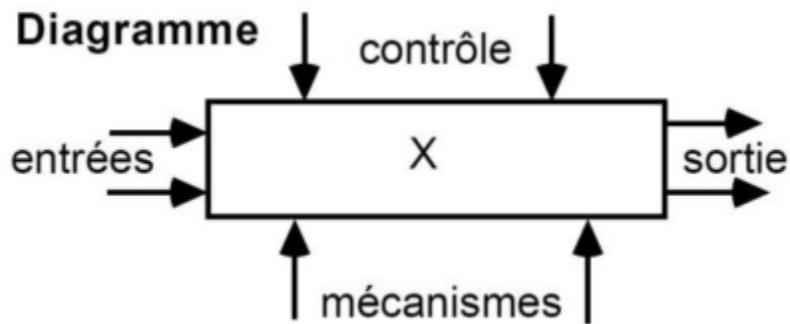


Figure 12 : module de base de la représentation graphique SADT.

2.2.4.Famille des méthodes IDEF [ABDMOULEH, 2004]

IDEF0 a été développée à partir de SADT elle est utilisée pour décrire les aspects fonctionnels d'un système. Dans cette suite logique, IDEF3 est spécialement conçue pour la modélisation des séquences d'activités ou processus.

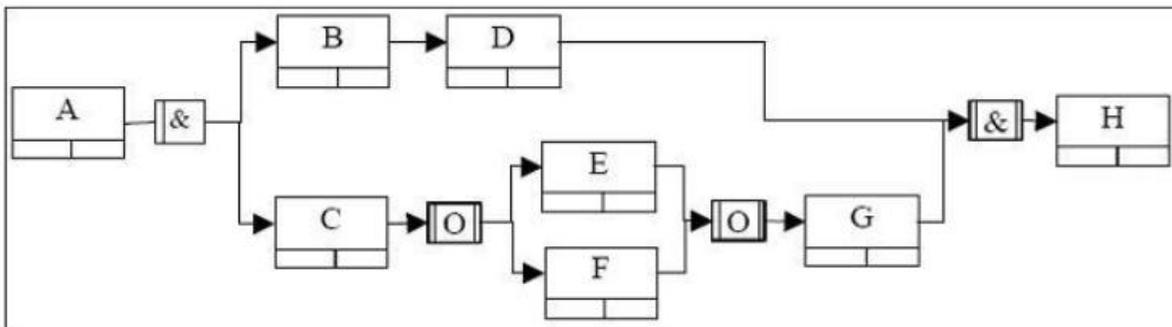
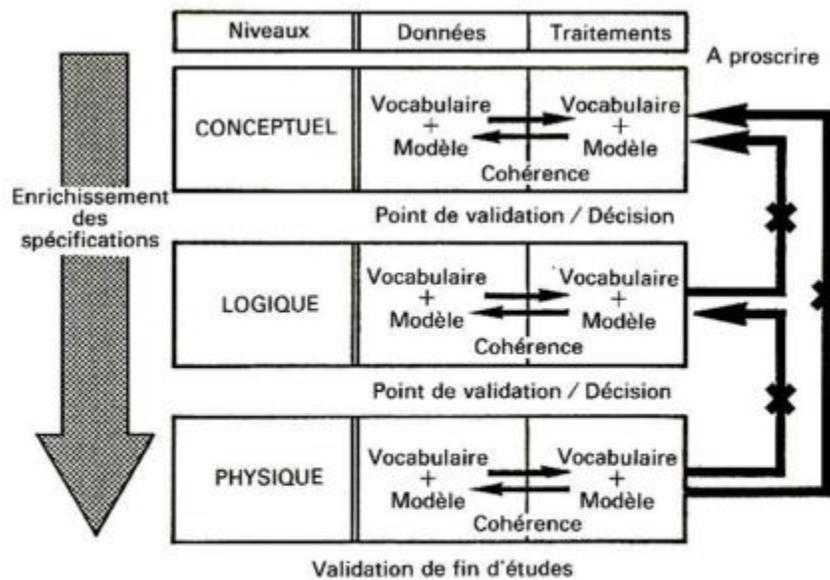


Figure 13 : exemple général de schéma de processus (IDEF3).

2.3.Structure organisationnelle intégrée

Dans cette structure les entreprises restent sous la tutelle de la maison mère, mais celle-ci reçoit les flux d'information des autres entreprises, elle peut donc mieux organiser et coordonner la chaîne logistique.

2.3.1.Merise (COMM, 2011; WIKIM, 2011)



*La méthode MERISE préconise d'analyser séparément données et traitements, à chaque niveau.
source : CIM, les nouvelles perspectives de la production, Jean-Baptiste Waldner, DUNOD, 1990,
reproduit avec l'autorisation de l'auteur.*

Figure 14 : Représentation de la méthode MERISE.

La méthode Merise est une méthode d'analyse, de conception et de réalisation de systèmes d'informations informatisés (Merise 3 pour la conception orienté objet). Elle est basée sur la séparation des données et des traitements à effectuer en plusieurs modèles conceptuels et physiques. La séparation des données et des traitements assure une longévité au modèle. En effet, l'agencement des données n'a pas à être souvent remanié, tandis que les traitements le sont plus fréquemment. Le projet MERISE commence par une analyse bottom-up (analyse critique de l'existant) puis par une démarche top-down (déclinaison de la solution retenue du niveau conceptuel au niveau physique).

2.3.2.CIMOSA (CIM Open System Architecture) [ABDMOULEH, 2004]

C'est une architecture pour construire des systèmes intégrés de production. Elle a été développée par le Consortium AMICE dans le cadre de projets ESPRIT. Cette architecture comprend un cadre de modélisation (MFW « Modeling FrameWork »); une plate-forme d'intégration (IIS « Integrating InfraStructure ») et le cycle de vie d'un système CIM « Computer-Integrated Manufacturing » (SLC « System Life Cycle »). Le cadre de modélisation formalise trois principes fondamentaux et orthogonaux pour la modélisation en entreprise suivant une structure à trois axes, communément appelée cube CIMOSA. CIMOSA offre des langages de modélisation intégrés pour les aspects fonctionnels, informationnels, ressources et organisationnels.

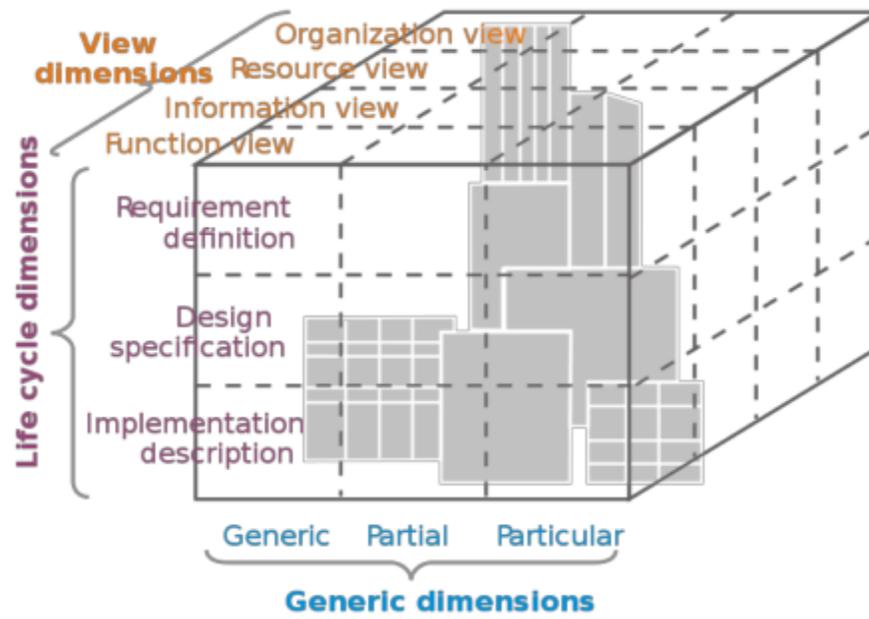


Figure 15 : le cube CIMOSA [WIKIC].

2.3.3. La méthode GRAI (Graphe de Résultats et Activités Inter-reliés)

Méthodologie de modélisation et d'analyse des systèmes de décision des entreprises de production de biens ou de services. Elle a été développée à l'origine par les Professeurs Pun et Doumeings de l'Université de Bordeaux. Elle s'appuie sur deux outils : la grille GRAI et les réseaux GRAI. La méthode GRAI a été largement utilisée depuis 1981 pour l'analyse et la conception de systèmes de gestion d'entreprises manufacturières, principalement en gestion de production.

2.3.4. PERA (Purdue Enterprise Reference Architecture)

Méthodologie complète d'ingénierie des environnements industriels développée par le Prof. Williams, Purdue University, USA. Elle peut être généralisée au développement de tout système d'entreprise (système industriel, atelier, usine ou département de toute nature). La méthodologie définit toutes les phases du cycle de vie d'une entité industrielle depuis sa conceptualisation jusqu'à sa mise en opération en passant par les phases de conception. L'originalité de PERA réside dans la prise en compte des aspects humains dans la méthodologie et de leur positionnement clair dans l'architecture.

2.3.5. ARIS (Architecture for integrated Information Systems)

Cette architecture a été développée par le professeur Scheer à l'université de Saarbrück en Allemagne. Sa structure entière est similaire à celle de CIMOSA, mais à la place de se focaliser sur les systèmes CIM, elle traite les entreprises avec des méthodes traditionnelles orientées métier (planning de production, inventaires de contrôles, etc.). Elle se focalise surtout en ingénierie des logiciels et les aspects organisationnels de la conception des systèmes intégrés dans l'entreprise.

2.3.6.GERAM (Generalized Enterprise Reference Architecture and Methodology)

Architecture de référence développée par un groupe de réflexion sur les architectures pour l'intégration des entreprises (IFAC/IFIP Task Force on Architectures for Enterprise Integration).

GERAM est en fait une généralisation de CIMOSA, de GRAI-GIM, de PERA et de quelques autres architectures (ARIS, ENV 40003 et IEM2) (ABDMOULEH, 2004).

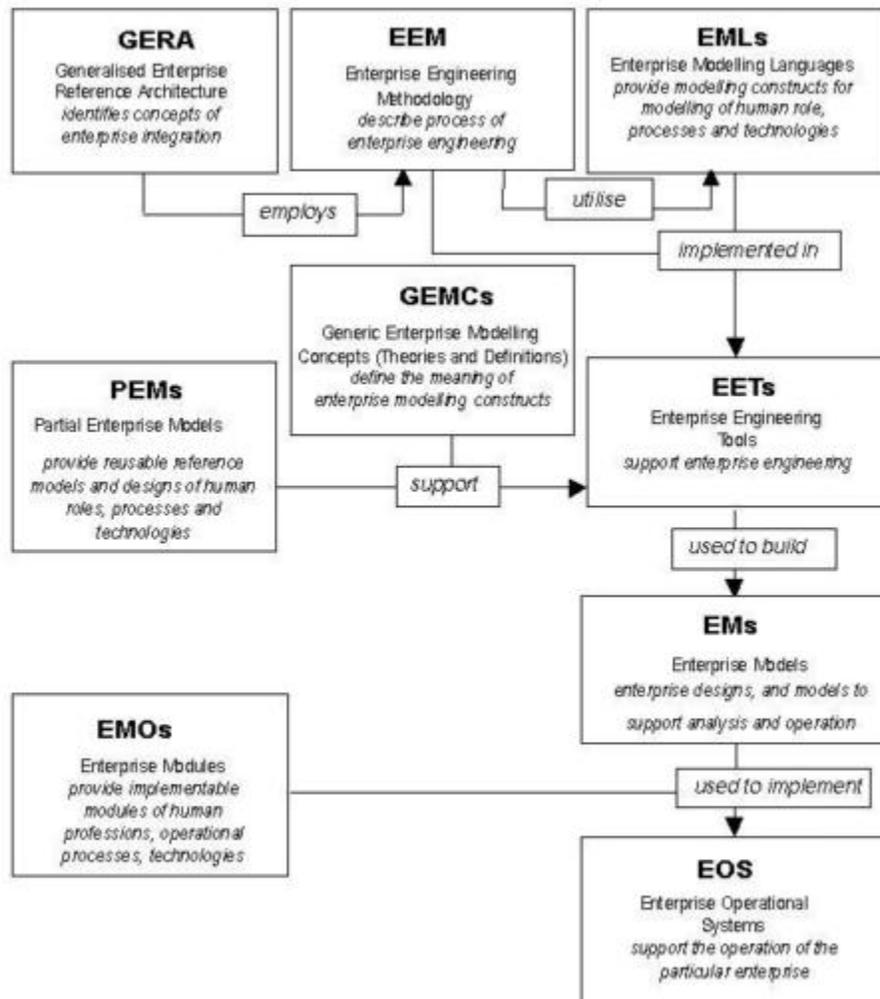


Figure 16 : GERAM : structure de ses composants [HOB].

2.4.Structure organisationnelle distribuée

2.4.1.TOVE (Toronto Virtual Enterprise project) [WIKIT, 2011; EIL, 2011]

C'est un projet créé dans les années 1990 par Mark E.FOX dans le but de développer une structure ontologique pour l'intégration d'entreprises (EI), basée sur la modélisation d'entreprise. Le but de TOVE est de proposer un modèle de données possédant les caractéristiques suivantes :

- Proposer une terminologie partagée de l'entreprise que chaque personne peut comprendre et utiliser,
- Définir la sémantique de chaque terme de manière précise et sans ambiguïté,

- Implémenter ces sémantiques dans des jeux d'axiomes dans le but de permettre à TOVE de déduire automatiquement la réponse d'un grand nombre de questions générales à propos de l'entreprise,
- Proposer une représentation symbolique et graphique qui décrive les termes définis précédemment.

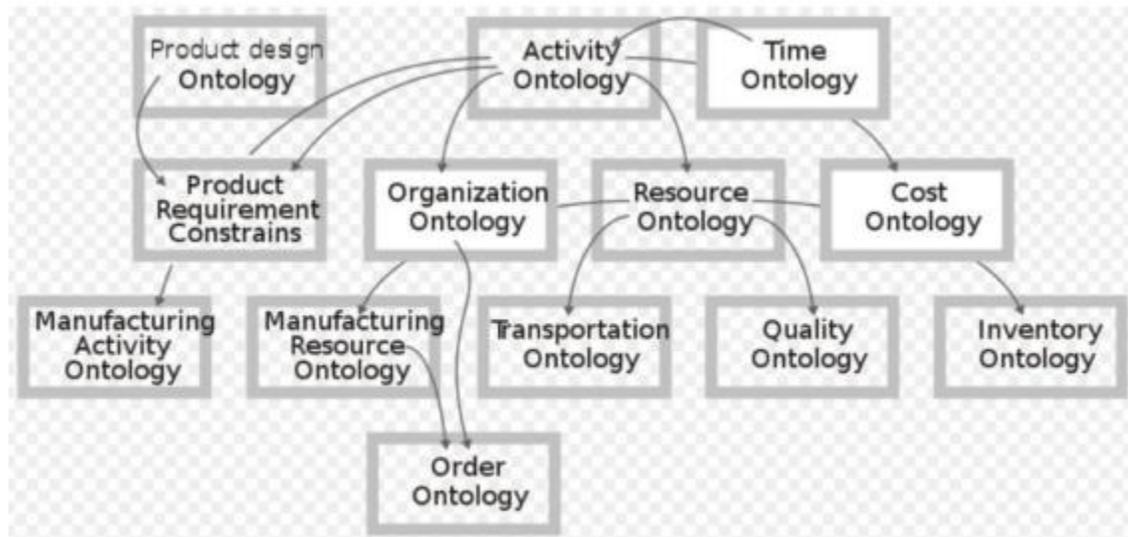


Figure 17 : représentation graphique TOVE.

2.4.2.IEM

Cette méthode, bien que faisant partie des modèles pouvant définir une structure organisationnelle distribuée, est peu utilisée par les entreprises et donc peu répandue.

2.5.Structure organisationnelle intelligente

2.5.1.Système multi-agents (SMA) [GUYET, 2007]

Le système multi agent est l'évolution des intelligences artificielles qui ne se concentraient que sur une seule entité. Le principe est de faire interagir des entités autonomes dans un environnement commun, et de voir quel en sont les évolutions. Les agents ont une capacité de perception de leur environnement, peuvent communiquer avec entre eux et sont guidés par des objectifs qui leurs sont propres (survie, intérêt personnel, fonction de satisfaction...). Il existe différents types d'agents: agents réactifs (exemple : fourmis), agents proactifs (exemple : système proie/prédateur), agents cognitifs, etc. Différents types d'agent peuvent communiquer dans un même modèle, ce qui permet une grande liberté de modélisation de cas particuliers.

2.5.2.Réseaux de neurones [LADJADJ, 2002] ; [BPC, 2011]

Les réseaux de neurones sont composés d'éléments simples (ou neurones) fonctionnant en parallèle. Ces éléments ont été fortement inspirés par le système nerveux biologique. Un réseau de neurones a une capacité d'apprentissage qui permet de réaliser des tâches complexes dans différents types

d'application (classification, identification, reconnaissance de caractères, de la voix, vision, système de contrôle...). Ces réseaux de neurones peuvent souvent apporter une solution simple à des problèmes encore trop complexes ne pouvant être résolus rapidement par les ordinateurs actuels (puissance de calcul insuffisante) ou par notre manque de connaissances.

Les neurones sont organisés et reliés entre eux d'une manière prédéfinie. Cependant ces liens peuvent amener à des structures différentes : réseau entièrement bouclés, réseaux à couches (Figure 18)...

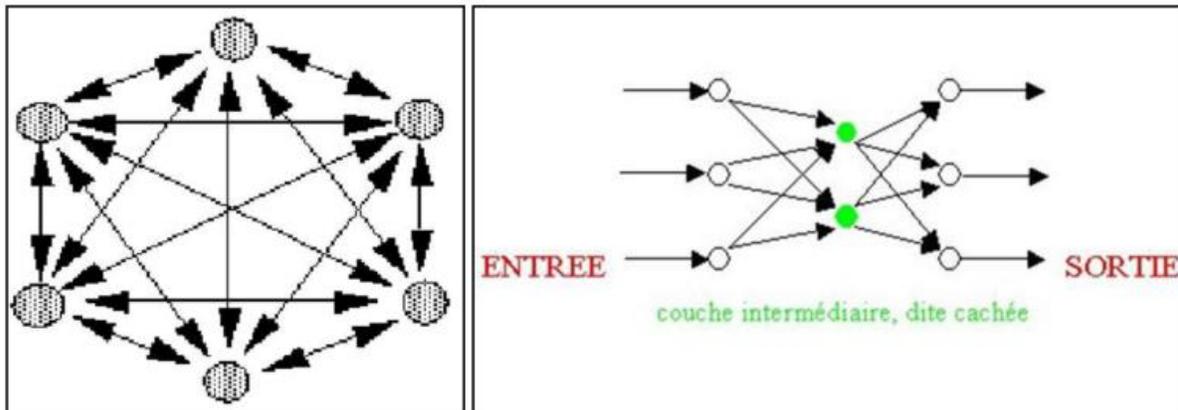


Figure 18 : réseaux de neurones bouclés (droite) et en couche (gauche).

2.5.3. Agile manufacturing: Standard BPMN [ENSM, 2009]

Les logiciels de modélisation des entreprises agiles ne se focalisent pas exclusivement sur la logistique, mais sur l'entreprise dans son ensemble pour permettre une gestion optimisée de celle-ci.

Le standard BPMN (Business Process Modelling Notation) est un langage semi-formel de modélisation des processus qui offre une notation explicite et accessible à tous les utilisateurs, définit des modèles graphiques de processus (flowcharts) et repose une modélisation des processus sur différents niveaux. Comparé au modèle IDEF 0, dont il est le descendant, le standard BPMN ne se contente pas de gérer les sous processus, il propose aussi des conditions d'exécution des activités, permet une description des activités, une gestion des événements, une description des ressources et un contrôle avancé des flux de processus.

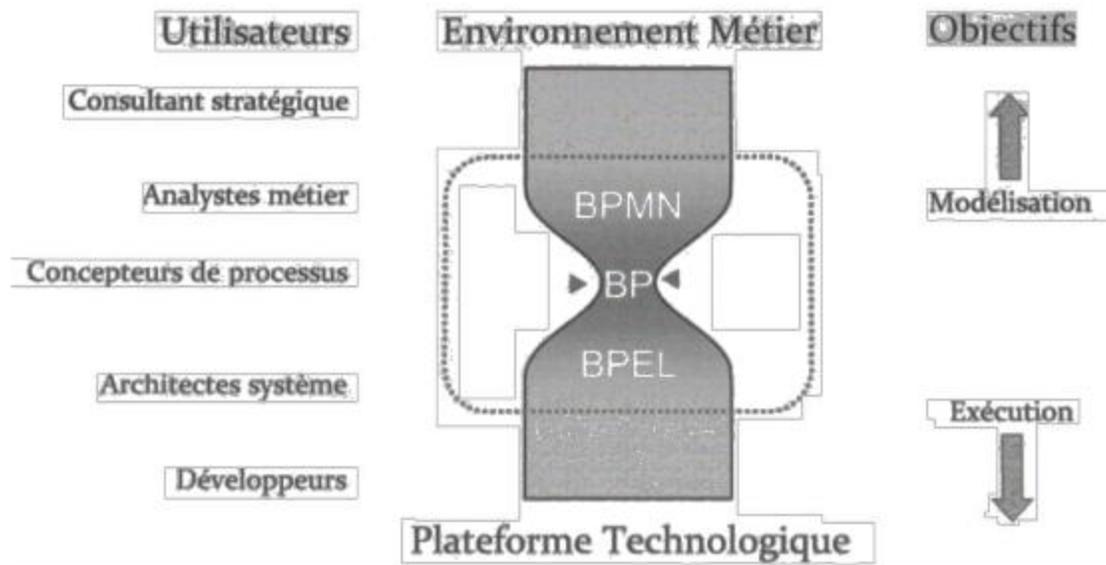


Figure 19 : Standard BPMN.

2.5.4. Méta-modèles (Braesch et Haurat, 1995 ; Roque et al , 2004 ; VILLEMINOT, 2004)

Nous avons vu qu'il existe une multitude de modèles servant à représenter une chaîne logistique. Cette grande panoplie de langages de modélisation, hétérogène comme il a été montré précédemment, peut mettre l'utilisateur dans une situation difficile au moment de faire le bon choix.

L'utilisateur se trouve donc confronté à deux types de problèmes :

- Une difficulté à comprendre tous les modèles et à pouvoir les discriminer pour choisir le plus adéquat à la situation de l'entreprise,
- Une grande difficulté de communication et de traduction entre deux modèles,
- Une difficulté pour l'entreprise d'utiliser le logiciel de modélisation adéquat si celui-ci est basé sur un langage différent que les langages des logiciels déjà adoptés par l'entreprise.

C'est pourquoi le développement d'un langage de modélisation unifié (UML: Unified Modeling Language) devient nécessaire, ce que propose la méta-modélisation.

Braesh nous donne une définition de la méta-modélisation [Braesch et Haurat, 1995] : « La méta-modélisation consiste à définir des modèles génériques à partir desquels les modèles particuliers d'utilisateur peuvent être exprimés. Elle cherche à modéliser, indépendamment de leur forme et de leur contexte, les concepts contenus dans les modèles. Elle s'apparente donc aux métalangages. Elle concerne essentiellement le niveau conceptuel par opposition au niveau de détails de l'implémentation ». C'est donc une grammaire pour l'expression des modèles. Ainsi le méta-modèle doit avoir les caractéristiques suivantes :

- Il doit être générique : son contenu doit pouvoir s'appliquer à plusieurs modèles de systèmes;

- Il doit permettre de réaliser une unification sémantique : mise en correspondance de concepts équivalents dans différents modèles en utilisant des représentations différentes ou dans différents systèmes.

Il existe 3 manières d'aborder la méta-modélisation :

- En tant que technique réflexive, qui permet de formaliser les formalismes de modélisation. Il est alors possible de lever des ambiguïtés dues à des descriptions incomplètes des formalismes.
- En tant qu'outil pour disposer d'un langage unique, pour communiquer et comparer différents formalismes.
- En tant que méthode d'ingénierie, car elle permet de maîtriser la complexité croissante des applications, en introduisant de la souplesse dans le processus de conception de ces applications. On ne s'astreint donc plus à une méthodologie de conception mais on considère le niveau supérieur pour adapter la méthodologie à son besoin, tout en garantissant une cohérence dans la démarche de conception.

La construction du méta-modèle peut se faire selon l'approche top-down (partant d'un paradigme de modélisation: il faut alors conceptualiser une modélisation de base la plus épurée nécessaire à la description de la chaîne logistique (Figure 18) ou bottom-up (partant des langages existant). Une construction hybride peut aussi être adoptée (sous réserve de vérifier la cohérence des deux approches entre elles) et ainsi réunir les avantages des deux types de construction.

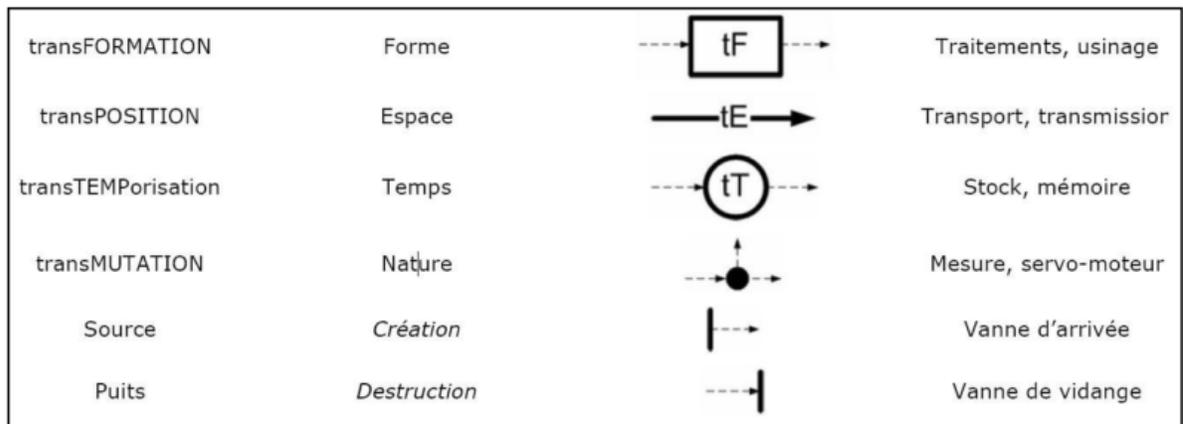


Figure 20 : exemple de représentation graphique des opérateurs systémiques dans le cadre d'une méta-modélisation.

Cependant il reste difficile de comparer les méta-modèles, dans la mesure où ils peuvent être basés sur des modèles différents, et donc ne possèdent pas de sémantique commune. C'est pourquoi les travaux actuels s'orientent vers une définition plus formelle de la sémantique des langages de modélisation. Un autre développement est l'approche MDA (Model Driven Architecture), comme présenté sur la Figure 19, qui consiste à développer un méta-méta-modèle qui regrouperait tous les méta-modèles en vue d'une sémantique commune.

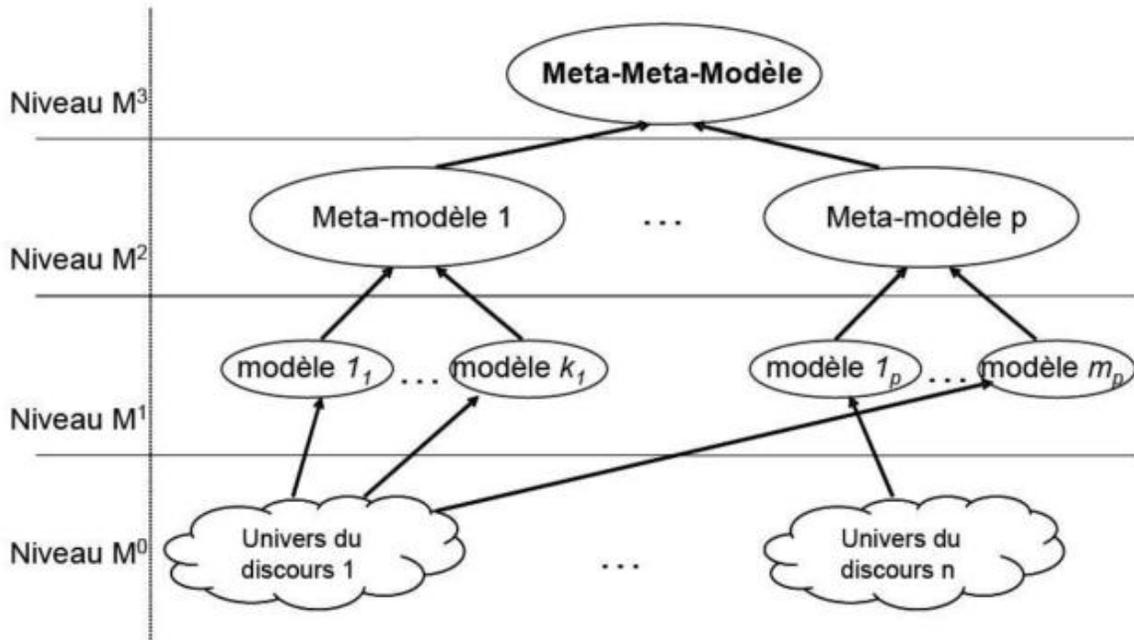


Figure 21 : approche MDA et les 4 niveaux de modèles.

3.Synthèse

Nous avons vu une large panoplie de modèle de chaîne logistique, classés selon la structure organisationnelle auquel ils s'apparentent. Il existe cependant d'autres types de classement, comme par exemple celui proposé par [Min et Zhou, 2002], représenté par la Figure 20 :

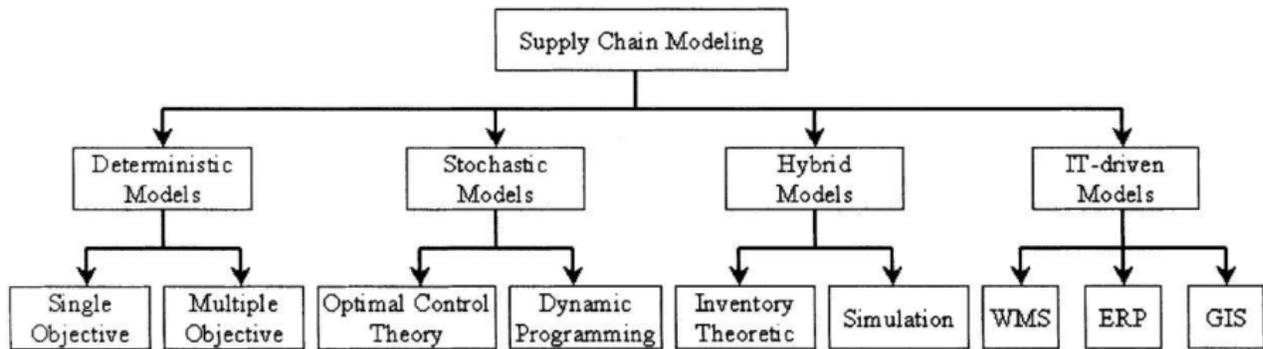


Figure 22 : Taxonomie des modèles de chaîne logistique.

Cependant, la modélisation de la chaîne logistique reste encore très ouverte de par l'absence de modèle « standardisé », accepté et utilisé par tous. De plus certains des paramètres pris en compte dans ces modèles peuvent rester subjectifs. Les travaux actuels et futurs se concentrent donc sur cette volonté de retravailler et dépasser tout ces modèles pour faire émerger un langage dominant ou un groupe restreint de langages complémentaires dans la modélisation de la chaîne logistique et plus généralement dans la modélisation de l'entreprise.

4. Simulation

4.1. But de la simulation

Le but de la simulation de la chaîne logistique est de proposer un modèle dynamique. Celui-ci permet de voir quel est le comportement de la chaîne dans le temps. Ainsi la modélisation sert à valider, à découvrir ou à comprendre les mécanismes qui régissent la chaîne logistique.

Historiquement, la simulation des premiers modèles a été réalisée à la main. Cependant, grâce aux progrès de l'informatique, la quasi-totalité des simulations actuelles sont informatisées dans un souci de gain de temps, de complexité et de flexibilité.

De même que pour la modélisation, un système logistique peut être simulé suivant deux approches : l'utilisation d'un modèle développé en interne spécifiquement, ou l'utilisation de logiciels spéciaux dédiés.

4.2. Simulation numérique

Au contraire des langages de modélisation qui sont conceptuels et pour lesquels l'informatique n'est qu'un support de mise en œuvre (même si celui-ci offre des avantages certains par rapport aux autres supports), les logiciels de simulation font tous appel à la puissance de calcul des ordinateurs pour permettre la simulation du comportement du système préalablement modélisé.

Les simulations numériques de chaîne logistique sont principalement classées en 2 catégories [WIKIS, 2011] :

- La simulation discrète dans laquelle le système est soumis à une succession d'évènements qui le modifient. Ces simulations ont pour but d'appliquer des principes simples à des systèmes de grande taille. Cette simulation discrète se divise en deux grandes catégories :
 - asynchrone ou time-slicing : on simule à chaque fois le passage d'une unité de temps sur tout le système ;
 - synchrone ou event-sequencing : on calcule l'arrivée du prochain événement, et on ne simule qu'événement par événement, ce qui permet souvent des simulations rapides, bien qu'un peu plus complexes à programmer.
- La simulation par agents, où la simulation est segmentée en différentes entités qui interagissent entre elles. Elle permet de simuler le comportement d'un individu ou d'un groupe d'individus. Par nature, son fonctionnement est asynchrone.

Une troisième catégorie est la simulation mixte, qui fait appel à de la simulation discrète et continue pour une plus grande liberté de modélisation et de simulation. Dans tous les cas la simulation fait intervenir des phénomènes stochastiques (pannes, retards...).

Le processus de simulation se déroule selon 4 étapes [COMP, 2011]:

- 1) L'étape 1 consiste à poser les bases préalables à la modélisation pour la simulation de la chaîne logistique : définition de la problématique, objectifs à atteindre, champ d'application du modèle à construire;
- 2) L'étape deux est la conception du modèle qui sera simulé: Il faut ici décrire le fonctionnement réel de la chaîne, en fonction de ses spécificités (travail interactif et collaboratif réalisé entre les acteurs/experts de cette réalité et le modélisateur). Il faut ensuite formaliser cette description de manière logique et causale (la causalité est nécessaire à tout traitement par calcul informatisé), et enfin implémenter ce modèle sur le logiciel de simulation choisi, ou dans le cas d'une modélisation spécifique il faut traduire le modèle de manière purement mathématique (écriture des équations de fonctionnement, insertion des données quantitatives...) puis coder en langage informatique le modèle ainsi créé.
- 3) Vient ensuite l'étape 3, la simulation proprement dite. Dans un premier temps il faut simuler le modèle tel qu'il a été décrit, pour valider la modélisation en fonction de l'adéquation entre les résultats obtenus et la réalité de la chaîne logistique (on peut ici mesurer les erreurs de prévisions, la sensibilité des résultats...). Ensuite, en fonction des résultats de cette première simulation, il faut modifier, corriger et préciser le modèle. Enfin, la dernière partie consiste à simuler le comportement de la chaîne sous l'effet d'un ou plusieurs scénarios prédéfinis.
- 4) Cette dernière étape est l'analyse et l'utilisation des résultats : il faut comprendre ce qu'implique les données tirées de la simulation, reconsidérer la chaîne logistique d'un œil nouveau et adapter les politiques de l'entreprise en conséquence.

4.3. Logiciels de simulation

De nombreux logiciels permettent la simulation de systèmes logistiques. Citons entre autre Arena, ExtendSim, Witness et Quest, qui sont tout quatre basés sur la simulation mixte (discrète et continue). La modélisation peut se faire en caché (sans visualisation graphique), ou, pour mieux visualiser et comprendre la réaction du système modélisé, peut être visualisée grâce à un module graphique qui représente en temps réel la chaîne logistique et tous les acteurs qui y participent et qui y ont donc été modélisés (flux, ressources humaines, matériels; transformations sur les flux, stocks...). Ces quatre logiciels peuvent aussi simuler d'autres systèmes que les chaînes logistiques, mais du fait de leurs caractéristiques (discrétisation, stochasticité...), sont appropriés et souvent utilisés pour les décrire. Il existe bien entendu d'autres logiciels, ce qui, comme pour la modélisation, rend le choix plus difficile pour l'entreprise.

4.4. Difficultés et limites de la simulation

Cependant la simulation en général reste limitée. Tout d'abord d'un point de vue technique, selon la manière d'implémenter une modélisation dans un logiciel le temps de résolution peut être d'une très grande variabilité. De plus, les capacités de simulation et ses contraintes amènent à faire un compromis entre la simplicité du modèle (moins d'erreurs d'implémentation, facilité de correction...) et sa finesse (résultats plus précis, prise en compte d'un maximum de facteurs, réduction du nombre d'hypothèses simplificatrices...). Ce compromis doit se faire en fonction des objectifs préalablement définis de

l'entreprise. En effet, selon le but recherché, on peut aboutir à deux simulations grandement différentes pour une même chaîne logistique, d'autant plus qu'un certain nombre de paramètres pris en compte sont subjectifs, ce qui implique une traduction mathématique discutable.

Enfin les résultats restent soumis à analyse et critique, étape essentielle sans laquelle ils n'ont pas de valeur.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons d'abord vu les différentes approches et méthodes de modélisation des chaînes logistiques, des outils et logiciels qui les soutiennent sont décrits tels que le modèle SCOR qui est un outil de modélisation par les processus. Ensuite nous avons présenté la simulation des chaînes logistiques qui a pour but de voir le comportement de la chaîne dans le temps et les logiciels qui la permettent.

Dans le chapitre suivant, une revue de la littérature traitant de la modélisation de chaînes logistiques sera présentée.

Chapitre3 :
Revue de la littérature

Introduction

Une Supply Chain peut être définie comme un processus intégré dans lequel un certain nombre de diverses entités d'affaires (c.-à-d., fournisseurs, fabricants, distributeurs, et détaillants) travaillent ensemble dans le but de:

- 1) Acquérir les matières premières,
- 2) transformer ces matières premières en produits finis,
- 3) Et livrer ces produits finis aux détaillants.

Cette chaîne est traditionnellement caractérisée par un flux en avant de matière et un flux en arrière de l'information.

Pendant des années, les chercheurs et les praticiens ont principalement étudié les divers processus de la chaîne logistique individuellement. Cependant, il y a eu récemment une attention croissante portée à la performance, la conception, et l'analyse de la Supply Chain dans son ensemble. D'un point de vue pratique, le concept de Supply Chain a résulté d'un certain nombre de changements de l'environnement de fabrication, notamment la hausse des coûts de fabrication, la diminution des ressources des bases de fabrication, la réduction des cycles de vie des produits, le nivellement du "playing field", et la mondialisation de l'économie de marché. L'intérêt actuel a cherché à étendre la chaîne logistique traditionnelle pour y inclure " la logistique inverse ", pour y inclure la récupération du produit pour les buts de la réutilisation, le ré-usinage, et la réutilisation. Dans la recherche dans le domaine de la fabrication, le concept de chaîne logistique s'est largement développé à partir des modèles à deux étapes des stocks multi-échelons, et il est important de noter que des progrès considérables ont été accomplis dans la conception et l'analyse des systèmes à deux-échelon. La majeure partie de la recherche dans ce secteur est basée sur le travail classique de Clark et Scarf (**Clark et Scarf, 1960; 1962**). Le lecteur intéressé se reportera à (**Federgruen, 1993 ; Bhatnagar et al. ; 1993**) pour des études détaillées des modèles de ce type. Des discussions plus récentes des modèles à deux-échelon peuvent être trouvées dans (**Diks et al, 1996 ; van Houtum et al., 1996**)

Les objectifs de ce chapitre sont de :

- 1) fournir une étude ciblée de la littérature dans la modélisation multi-étapes de la chaîne logistique;
- 2) et de montrer la négligence de l'intégration des aspects financiers avec les processus opérationnels dans les approches de modélisation des chaînes logistiques à travers la littérature.

.1.Revue de la littérature

La chaîne logistique est constituée de cinq étapes (figure.1). D'une façon générale, les modèles multi-étapes pour la conception et l'analyse de la chaîne logistique peuvent être divisés en quatre catégories, par approche de modélisation. Dans les cas inclus ici, l'approche de modélisation est motivée par la nature des intrants et l'objectif de l'étude. Les quatre catégories sont:

- 1) Les modèles analytiques déterministes, dans lesquels les variables sont connues et indiquées;

- 2) Les modèles analytiques stochastiques, où au moins une des variables est inconnue, et est supposée suivre une distribution de probabilité particulière;
- 3) Les modèles économiques;
- 4) Les modèles de simulation.

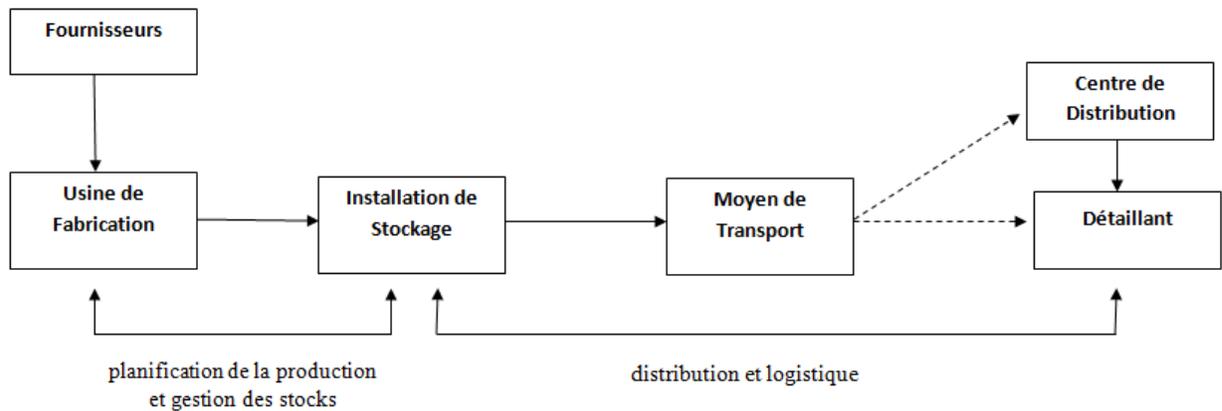


Figure 23 : Processus de la chaîne logistique

1.1. Modèles analytiques déterministes

Williams [7] présente sept algorithmes heuristiques pour la planification des opérations de production et de distribution dans un réseau de chaînes logistiques d'assemblage (c.-à-d., chaque station possède au plus un successeur immédiat, mais un certain nombre de prédécesseurs). L'objectif de chaque heuristique est de déterminer une production à moindre coût et/ou le programme de distribution de produits qui répond à la demande du produit final.

Le coût total est la somme du niveau des stock moyen et des coûts fixes (commande, livraison, ou installation). En conclusion, la performance de chaque heuristique est comparée en utilisant un large éventail d'expériences empiriques, et des recommandations sont faites sur les bases de la qualité de la solution et de la structure du réseau.

Williams, 1981 a développé un algorithme de programmation dynamique pour déterminer simultanément la production et la distribution des tailles des lots à chaque nœud dans un réseau de chaînes logistiques. Comme dans (**Williams, 1983**), on suppose que le processus de production est un processus d'assemblage. L'objectif de l'heuristique est de minimiser le coût moyen par période sur un horizon infini, où le coût moyen est une fonction des coûts de traitement et des couts de stockage pour chaque nœud dans le réseau.

Ishii et al., 1988 ont développé un modèle déterministe pour la détermination des niveaux des stocks de base et les délais associés à la solution la moins coûteuse pour une chaîne logistique intégrée sur un horizon fini. Les niveaux des stocks et les délais sont déterminés de façon à éviter la rupture de stock, et minimiser la quantité de stocks périmés à chaque point de stockage. Leur modèle utilise un système

de commande en flux tirés qui est conduit, dans ce cas, par des processus de demande linéaires (et connus).

Cohen et Lee, 1989 ont présenté un modèle de programmation mathématique non linéaire, déterministe en nombres entiers, basé sur les techniques de la quantité d'ordre économique (EOQ), pour développer ce que les auteurs appellent politique globale de déploiement des ressources. Plus précisément, la fonction objective utilisée dans leur modèle maximise le bénéfice total après imposition sur les équipements de fabrication et les centres de distribution (revenu total moins les coûts totaux avant imposition moins l'impôt dû). Cette fonction objective est soumise à un certain nombre des contraintes, y compris " les contraintes de gestion" (contraintes de ressource et de production) et " les contraintes de cohérence logiques" (faisabilité, disponibilité, limites de demande, et non négativité des variables). Les outputs résultants de leur modèle comprennent (**Cohen et Lee, 1988**) :

- L'affectation des produits finis et des montages partiels aux usines de fabrication, des vendeurs aux centres de distribution, des centres de distribution aux régions du marché.
- Les quantités de composants, de montages partiels, et de produits finis à expédier entre les vendeurs, des installations de fabrication, et des centres de distribution.
- Les quantités de composants, de montages partiels, et de produits finis à fabriquer aux installations de fabrication.

De plus, ce modèle fait ressortir les besoins en matériaux et les affectations pour tous les produits, tout en maximisant les bénéfices après imposition.

Cohen et Moon , 1990 ont étendu **Cohen et lie, 1989** en développant un modèle d'optimisation sous contraintes, appelé PILOT, pour étudier les effets des différents paramètres sur le coût de la chaîne logistique, et ils considèrent le problème supplémentaire de la détermination des installations de fabrication et centres de distribution devant être ouverts. Plus précisément, les auteurs considèrent une chaîne logistique constituée des fournisseurs de matière première, des installations de fabrication, des centres de distribution, et des détaillants. Ce système produit des produits finis et des produits intermédiaires, en utilisant divers types de matières premières. En utilisant ce système particulier, le modèle PILOT accepte comme inputs les divers coûts de production et de transport, et par conséquent les outputs :

- Lesquels des installations de fabrication et des centres de distribution disponibles devraient être ouverts.
- Les matières premières et les quantités d'ordre intermédiaires pour les vendeurs et les installations de fabrication.
- Les quantités de produit produites par unité de production.
- La livraison des quantités de produits spécifiques à partir des installations de fabrication au centre de distribution au client.

La fonction objectif du modèle PILOT est une fonction de coût, se composant des coûts fixes et variables de production et de transport, la capacité, la tâche, la demande et les contraintes de besoin en matière première. Sur la base des résultats de leur exemple de système de chaîne logistique, les auteurs concluent qu'il y a un certain nombre de facteurs qui peuvent dominer les coûts de la chaîne logistique sous une variété de situations, et que le coût de transport joue un rôle important dans le coût global des opérations de la chaîne logistique.

Newhart et al., 1993 ont conçu une chaîne logistique optimale en utilisant une approche biphasée. La première phase est une combinaison d'un programme mathématique et un modèle heuristique, avec l'objectif de minimiser le nombre de types de produit distincts gardés dans le stock dans toute la chaîne logistique. La deuxième phase est un modèle d'inventaire basé sur une feuille de calcul, qui détermine la quantité minimum de stocks de sécurité exigée pour absorber la demande et les fluctuations du délai d'exécution. Les auteurs considèrent quatre solutions pour le placement des différentes installations au sein de la chaîne logistique. La prochaine étape consiste à calculer le montant des investissements en stocks sous chaque alternative, étant donné un ensemble d'exigences de la demande, puis de choisir l'option coût minimum.

Arntzen et al., 1995 ont développé un modèle de programmation mixte en nombres entiers, appelé "global supply chain model", (GSCM) qui peut s'adapter aux multiples produits, aux équipements, aux étapes (échelons), aux périodes de temps, et aux modes de transport. Plus précisément, le GSCM minimise une fonction composée : (1) des jours d'activité et (2) du coût total de production (fixe et variable), des stocks, de la manutention, des frais généraux, et des coûts de transport. Le modèle exige, en entrée, les nomenclatures, les volumes de la demande, les frais et taxes, et les besoins du jour d'activité, comme output: (1) le nombre et l'emplacement des centres de distribution, (2) l'affectation des centres de distribution à la clientèle, (3) le nombre d'échelons (quantité d'intégration verticale), et (4) l'affectation du produit en usine. **Voudouris, 1996** a développé un modèle mathématique conçu pour améliorer l'efficacité et la réactivité dans une chaîne logistique.

Le modèle maximise la flexibilité de système, telle que mesurée par la somme en fonction du temps des différences instantanées entre les capacités et les utilisations des deux types de ressources: ressources de stocks et ressources d'activité. Les ressources de stocks sont des ressources directement liées à la quantité de stocks détenue; alors que les ressources d'activité sont des ressources qui sont exigées pour maintenir le flux de matières. Le modèle nécessite, en entrée, les données sur la consommation de ressources et les informations sur les nomenclatures, et génère en output: (1) la production, l'expédition, le programme de livraison pour chaque produit et (2) les niveaux de stocks pour chaque produit.

Camm et al., 1997 ont développé un modèle de programmation entier, basé sur une formulation de l'emplacement des installations, pour Procter et Gamble Company. Le but du modèle est de : (1) déterminer l'emplacement des centres de distribution et (2) affecter ces centres de distribution sélectionnés aux zones de clients. La fonction objectif du modèle minimise le coût total du choix de l'emplacement des centres de distribution et de l'affectation à la clientèle des centres de distribution, sous réserve des contraintes régissant les affectations des centres de distribution à la clientèle le nombre maximum de centres de distribution permis.

1.2. Modèles analytiques stochastiques

Cohen et Lee, 1988 ont développé un modèle pour établir une politique des besoins en matière pour toutes les matières pour chaque étape du système de production de la chaîne logistique. Dans ce travail, les auteurs utilisent quatre sous-modèles différents basés sur le coût (il y a un sous-modèle stochastique pour chaque étape de la production). Chacun de ces sous-modèles est énuméré et décrit ci-dessous (**Cohen et Lee, 1988**):

1. **Contrôle de matière:** Établit les quantités de commande matérielles, les intervalles de réapprovisionnement, et les temps de réponse estimés pour toutes les installations de la chaîne logistique, fixation des délais d'exécution, les taux de remplissage, les nomenclatures, données concernant les coûts, et les besoins de production.
2. **Contrôle de production:** Détermine les tailles des lots de production et les délais d'exécution pour chaque produit, compte tenu des temps de réponse matériels.
3. **Réserve de produits finis (entrepôt):** Détermine la taille et la quantité d'ordre économique pour chaque produit, en utilisant des données concernant les coûts, les objectifs du taux de remplissage, les délais de fabrication, et les données de la demande.
4. **Distribution:** Établit les politiques de suivie des stocks pour chaque service de distribution, en fonction des exigences du temps de transport, les données de la demande, les données concernant les coûts, les données du réseau, et les objectifs de taux de remplissage.

Chacun de ces sous-modèles est basé sur un objectif de coût minimum. Dans la dernière étape de calcul, les auteurs déterminent les politiques de commande optimales approximatives en utilisant un programme mathématique, qui minimise la somme totale des coûts pour chacun des quatre sous-modèles.

Svoronos et Zipkin, 1991 considèrent des systèmes de chaînes logistiques de type de distribution multi-échelon (c.-à-d., chaque service a au plus un prédécesseur direct, mais un certain nombre de successeurs directs). Dans cette recherche, les auteurs supposent un stock de bases, remplacement un par un de chaque élément, et que les demandes de chaque installation suivent un processus de Poisson indépendant. Les auteurs obtiennent des approximations d'état d'équilibre pour le de niveau des stocks moyens et le moyen de commandes en attente à chaque emplacement pour tout choix de niveau de stock de base. Enfin, en utilisant ces approximations, les auteurs proposent la construction d'un modèle d'optimisation qui détermine le coût minimum du niveau de stock de base.

Lee et Billington, 1993 développent un modèle heuristique stochastique pour la gestion des flux de matière sur une base d'emplacement par emplacement. Plus précisément, les auteurs modélisent un système de gestion des stocks à flux tendus, périodique, et déterminent la période de réexamen (par type de produit) et la quantité d'ordre (par type de produit) comme outputs du modèles. Les auteurs développent un modèle qui soit :

- 1) détermine la politique de commande de matériel en calculant les niveaux de stocks nécessaires pour réaliser un objectif de niveau de service donné pour chaque produit à chaque installation
ou

- 2) détermine le niveau de service pour chaque produit à chaque installation, étant donné une politique de commande de matériel.

Lee et al., 1993 développent un modèle de gestion des stocks stochastique, à examen périodique pour développer une procédure pour les processus de localisation dans la supply chain. Autrement dit, les auteurs proposent une approche pour les processus opérationnels et de distribution qui prennent en considération les différences dans les structures du marché cible (par exemple, différences de langue, de l'environnement, ou les gouvernements). Ainsi, l'objectif de cette recherche est de concevoir les produits et les procédés de production qui conviennent à différents segments de marché qui ont comme conséquence un moindre coût et les niveaux les plus élevés de service à la clientèle.

Pyke et Cohen, 1993 développent un modèle de programmation mathématique pour une chaîne d'approvisionnements intégrée, en utilisant des sous-modèles stochastiques pour calculer les valeurs des variables aléatoires incluses dans le programme mathématique.

Les auteurs considèrent une chaîne d'approvisionnements à trois niveaux, se composant d'un produit, d'un service de fabrication, d'un service d'entrepôt, et d'un détaillant. Le modèle minimise le coût total, soumis à une contrainte de niveau de service, et tient les temps d'installation, les durées de traitement, et les délais d'exécution de réapprovisionnement constants. Le modèle donne l'intervalle de réapprovisionnement économique (moindre coût), les tailles de lots de reconstitution, et les niveaux de produit (pour le détaillant) pour un réseau de production particulier.

Pyke et Cohen, 1994 poursuivent la recherche de **Pyke et Cohen, 1993** en incluant un réseau de production plus compliqué. Dans **Pyke et Cohen, 1994**, les auteurs considèrent encore une chaîne d'approvisionnements intégrée avec un service de fabrication, un entrepôt, et un détaillant, mais considèrent plusieurs types de produits. Le nouveau modèle donne des outputs similaires; cependant, il détermine les variables de décision clé pour chaque type de produit. Le modèle donne l'intervalle de réapprovisionnement économique (moindre coût), les tailles de lots de reconstitution (pour chaque type de produit), et les niveaux de produit (pour le détaillant, pour chaque type de produit) pour un réseau particulier de supply chain.

Tzafestas et Kapsiotis, 1994 utilisent une approche de programmation mathématique déterministe pour optimiser une chaîne logistique, ils emploient alors des techniques de simulation pour analyser un exemple numérique de leur modèle d'optimisation. Dans ce travail, les auteurs réalisent l'optimisation selon trois scénarios différents (**Tzafestas et Kapsiotis, 1994**) :

- 1) *Optimisation des services de fabrication*: Selon ce scénario, l'objectif est de minimiser le coût total encouru par le service de fabrication seulement; les coûts éprouvés par d'autres équipements sont ignorés.
- 2) *Optimisation globale de la supply chain* : Ce scénario suppose une relation de coopération entre toutes les étapes de la chaîne logistique, et minimise donc tous les coûts opérationnels de la chaîne dans son ensemble.
- 3) *Optimisation décentralisée*: Ce scénario permet d'optimiser chacune des composantes de la chaîne logistique individuellement, et ainsi de minimiser le coût subi par chaque niveau.

Les auteurs observent que pour leur exemple choisi, les différences dans les coûts totaux entre les trois scénarios ne diffèrent pas de manière significative.

Towill et Del Vecchio, 1994 considèrent l'application de la théorie du filtre et de la simulation pour l'étude des chaînes logistiques. Dans leur recherche, les auteurs comparent les caractéristiques du filtre des chaînes logistiques afin d'analyser les différentes réponses de chaîne d'approvisionnement à aléa de la demande. Ces réponses sont ensuite comparées en utilisant la simulation, afin de définir les besoins minimums de stocks de sécurité qui permettent d'atteindre un niveau de service particulier souhaité.

Lee et Feitzinger 1995 développent un modèle analytique pour analyser la configuration de produit pour l'ajournement (c.-à-d., déterminer l'étape de production optimale pour la différenciation de produit), en supposant une demande de produits stochastique. Les auteurs supposent un processus de fabrication avec I étapes de production qui peuvent être effectuées à une usine ou à un des M centres de distribution (CD). Le problème est de déterminer une étape P telle que les étapes 1 à P soient réalisées à l'usine et les étapes $(P+1)$ à I seront réalisées aux centres de distribution CD. Les auteurs résolvent ce problème en calculant un coût prévu pour les différentes configurations de produit, comme une somme des coûts de stocks, du fret, de douane, d'installation, et les coûts de traitement. La valeur optimale de P est celle qui minimise la somme de ces coûts.

Altiok et Ranjan, 1995 considèrent un système généralisé de production / stock avec: M étapes ($M > 1$), un type de produit final, des durées de traitement et des temps d'installation aléatoires (FIFO, pour toutes les étapes), et des tampons intermédiaires. Le système expérimente la demande de produits finis selon un processus de Poisson composé, et les niveaux de stocks (les tampons intermédiaires et les produits finis) sont contrôlés conformément à une politique de prise d'inventaire continue, et les commandes en attente sont permises. Les auteurs développent un procédé itératif où chacun des sous-systèmes de deux-nœud est analysé individuellement; le procédé se termine une fois que les débits moyens estimés pour chaque sous-système sont approximativement égaux. Une fois la condition d'achèvement vérifiée, le procédé permet de calculer des valeurs approximatives pour les deux mesures de performance : 1) Le niveau des stocks dans chaque tampon j , et 2) la probabilité de rupture de stock. Les auteurs concluent que leur approximation est acceptable tant que la probabilité P (commande en attente (rupture de stock)) n'excède pas 0.30, dans ce cas le système ne s'adapte pas efficacement aux volumes de demande.

Enfin, **Lee et al, 1997** développent des modèles mathématiques stochastiques décrivant " l'effet coup de fouet ", qui est défini comme le phénomène par lequel la variation de la demande de l'acheteur devient de plus en plus amplifiée et se distordue à chaque échelon vers le haut dans toute la chaîne logistique. Autrement dit, la variation réelle et la valeur des commandes à chaque échelon est de plus en plus élevée que la variation et la valeur des ventes, et ce phénomène se propage en amont dans la chaîne. Dans cette recherche, les auteurs développent des modèles analytiques stochastiques décrivant les quatre causes de l'effet coup de fouet (traitement des demandes, rationnement du jeu, et les variations des prix), et montrent comment ces causes contribuent à l'effet.

1.3.Modèles économiques

Christy et Grout, 1994 développent un cadre de théorie des jeux économique pour modéliser la relation client/fournisseur dans une chaîne logistique. La base de ce travail est une "matrice des liens (2x2) " de la chaîne logistique, qui peut être employée pour identifier les conditions dans lesquelles chaque type de relation est souhaité. Ces conditions s'étendent de la haute à la basse spécificité de processus, et de la haute à la basse spécificité de produit. Ainsi, les risques relatifs pris par l'acheteur et le fournisseur sont repris dans la matrice. Par exemple, si la spécificité du processus est basse, alors l'acheteur prend le risque; si la spécificité de produit est basse, alors le fournisseur prend le risque. Pour chacun des quatre quadrants (et donc, chacune des quatre catégories de risque), les auteurs attribuent des techniques appropriées pour modéliser la relation client/fournisseur. Pour le cas de deux-échelon, le lecteur intéressé se reportera à **Cachon et Zipkin, 1997**.

1.4.Modèles de simulation

Towill, 1991 et Towill et al., 1992 emploient des techniques de simulation pour évaluer les effets des différentes stratégies de chaîne d'approvisionnements sur l'amplification de la demande.

Les stratégies étudiées sont comme suit (**Towill et al., 1992**):

- 1) Élimination de l'échelon de distribution de la chaîne d'approvisionnements, en incluant la fonction de distribution dans l'échelon de fabrication.
- 2) Intégration du flux d'information tout au long de la chaîne.
- 3) Implémentation d'une politique d'inventaire "juste à temps" (JIT) pour réduire les délais.
- 4) Amélioration de la circulation des produits intermédiaires et des matières en modifiant les procédures de quantité d'ordre.
- 5) Modification des paramètres des procédures de quantité d'ordre existantes.

L'objectif du modèle de simulation est de déterminer quelles sont les stratégies les plus efficaces pour lisser les variations dans la structure de la demande. La stratégie du juste-à-temps (stratégie 3 ci-dessus) et la stratégie du retrait de l'échelon (stratégie 1ci-dessus) ont été observées comme étant les plus efficaces pour le lissage des variations de la demande.

Wikner et al., 1991 examinent cinq stratégies d'amélioration de la chaîne logistique, puis mettent en application ces stratégies sur un modèle de référence de la chaîne logistique à trois étapes. Les cinq stratégies sont (**Wikner et al., 1991**):

- 1) Parfaire les règles de décision existantes.
- 2) Réduire les délais entre chaque étape de la chaîne logistique.
- 3) Éliminer l'étape distribution de la chaîne logistique.
- 4) Améliorer les règles de décision à chaque étape de la chaîne logistique.

- 5) Intégrer le flux d'information, et séparer les demandes des commandes réelles, qui sont des vraies demandes du marché, et les commandes couvertes (cover orders), qui sont des commandes qui soutiennent les stocks de sécurité.

Leur modèle de référence comprend une seule usine (avec un entrepôt sur le site), des services de distribution, et des détaillants. Ainsi, il est supposé que chaque service dans la chaîne abrite un certain stock. L'implémentation de chacune des cinq stratégies différentes est effectuée en utilisant la simulation, dont les résultats sont ensuite utilisés pour déterminer les effets des différentes stratégies sur la réduction des fluctuations de la demande. Les auteurs concluent que la stratégie d'amélioration la plus efficace est la stratégie 5, en améliorant le flux d'information à tous les niveaux tout au long de la chaîne, et en séparant des commandes.

2. Mesures de la performance de la chaîne logistique

Un composant important dans la conception et l'analyse de la chaîne logistique est l'établissement des mesures de performance appropriées. Une mesure de performance, ou un ensemble de mesures de performance, est employée pour déterminer l'efficacité et/ou l'efficacités d'un système existant, ou pour comparer des systèmes alternatifs concurrents. Les mesures de performance sont également utilisées pour la conception des systèmes proposés, en déterminant les valeurs des variables de décision qui rapportent le(s) niveau(x) le(s) plus souhaitable(s) de la performance. La littérature disponible identifie un certain nombre de mesures de performance comme importantes dans l'évaluation de l'efficacité et de l'efficacité de la chaîne logistique. Ces mesures, décrites dans cette section, peuvent être classées comme étant soit qualitatives ou quantitatives.

2.1. Mesures de performance qualitatives

Les mesures de performance qualitatives sont les mesures pour lesquelles il n'y a aucune mesure numérique directe, bien que certains de leurs aspects peuvent-être quantifiés. Ces objectifs ont été identifiés comme importants, mais ne sont pas employés dans les modèles passés en revue ici:

- *Satisfaction du client*: Le degré pour lequel les clients sont satisfaits du produit et/ou du service reçu et peut s'appliquer aux clients internes ou externes. La satisfaction du client est composée de trois éléments (**Christopher, 1994**) :
 - 1) *Satisfaction pré-transactionnelle*: la satisfaction associée à des éléments de services survenant avant l'achat du produit.
 - 2) *Satisfaction de transaction*: satisfaction liée aux éléments de service directement impliqués dans la distribution physique des produits.
 - 3) *Satisfaction post-transactionnelle* : la satisfaction liée au soutien prévu pour les produits en cours d'utilisation.
 - 4) *Flexibilité*: Le degré pour lequel la chaîne d'approvisionnements peut répondre aux fluctuations aléatoires de la demande.

- *Flexibilité*: Le degré pour lequel la chaîne logistique peut répondre aux fluctuations aléatoires de la demande.
- *L'intégration des flux d'information et de matière (Nicoll, 1994)*: La mesure pour laquelle toutes les fonctions au sein de la chaîne logistique communiquent l'information et transportent le matériel.
- *Gestion efficace des risques (Johnson et al., 1995)*: Toutes les relations au sein de la chaîne logistique contiennent des risques inhérents. La gestion efficace des risques décrit le degré pour lequel les effets de ces risques sont minimisés.
- *La performance des fournisseurs*: Exécution de fournisseur: Avec quelle cohérence les fournisseurs fournissent les matières premières aux services de production à temps et en bon état.

2.2. Mesures de performance quantitatives

Les mesures de performance quantitatives sont les mesures qui peuvent être directement décrites numériquement. Les mesures de performance quantitatives de la chaîne logistique peuvent être classées par catégorie selon : (1) les objectifs basés directement sur le coût ou le profit et (2) les objectifs basés sur une certaine mesure de réactivité du client.

2.2.1. Mesures basées sur le coût

- *Minimisation du coût*: L'objectif le plus largement utilisé. Le coût est généralement minimisé pour une chaîne logistique entière (coût total), ou est minimisé pour les unités d'affaires particulières ou les étapes.
- *Maximisation de ventes (Hammel et Kopczak, 1993)*: Maximiser la quantité des ventes ou d'unités vendues.
- *Maximisation du profit*: Maximiser les revenus à moindres coûts.
- *Minimisation des investissements en stocks (Lee et Billington, 1993)*: Minimiser le montant des coûts de stockage (y compris les coûts des produits et les coûts de possession).
- *Maximisation du retour sur l'investissement (Christopher, 1994)*: Maximisez le ratio du bénéfice net par rapport au capital utilisé pour produire ce bénéfice.

2.2.2. Mesures basées sur la réponse du client

- *Maximisation du taux de remplissage (fill rate)* : Maximiser la fraction des commandes des clients satisfaites à temps.
- *Minimisation du retard de production*: Minimiser la durée de temps entre la date de livraison du produit promise et la date de livraison réelle.
- *Minimisation du temps de réponse de client*: minimiser la durée de temps requise à partir du moment où une commande est passée jusqu'au moment où la commande est reçue par le client. Se rapporte habituellement aux clients externes seulement.

- *Minimisation des délais d'exécution* : Minimiser la durée de temps entre le moment où un produit commence sa fabrication jusqu'au moment où il est complètement traité.
- *Minimisation de la duplication des fonctions (Nicoll, 1994)*: Minimiser le nombre de fonctions d'affaires qui sont fournies par plus d'une entité d'affaires.

2.3. Mesures de performance utilisées dans la modélisation la de chaîne logistique

Comme mentionné ci-dessus, un élément important dans la modélisation de la chaîne logistique est l'établissement des mesures de performance appropriées. Chacun des modèles passés en revue dans la section 3 a cherché à optimiser une ou plusieurs mesures de performance de la chaîne logistique, étant donné un ensemble de contraintes physiques ou opérationnelles du système. Le tableau 1ci-dessous résume les mesures de performance utilisées dans la recherche passée en revue.

Tableau 5 : Mesures de performance dans la chaîne logistique

Bases	Mesure de performance	Auteurs
Coût	Minimisation des coûts	Camm et al., 1997
		Lee et al., 1997
		Lee and Feitzinger, 1995
		Tzafestas and Kapsiotis, 1994
		Pyke and Cohen 1994
		Pyke and Cohen, 1993
		Lee et al., 1993
		Svoronos and Zipkin, 1991
		Cohen and Moon, 1990
		Cohen and Lee, 1988
		Ishii et al., 1988
		Williams, 1983
		Williams, 1981
Minimisation des niveaux de stocks moyens	Altiok and Ranjan, 1995	
	Towill and Del Vecchio,1997	
Maximisation du profit	Cohen and Lee, 1989	
Minimisation des stocks périmés	Ishii et al., 1988	
Client	Atteindre le niveau de service cible (full rate)	Lee and Billington, 1993
		Lee et al., 1993
		Towill and Del Vecchio, 1994
Réactivité	Minimisation de la probabilité de rupture de stock	Altiok and Ranjan , 1995
		Ishii et al., 1988
Coût et réactivité client	Minimisation de la variation de la demande de produit ou l'amplification de la demande	Newhart et al., 1993
		Towill et al., 1992
		Towill, 1991
		Wikner et al., 1991
Maximisation du bénéfice clien-fournisseur	Christy and Grout, 1994	
Coût et temps d'activité	Minimisation du nombre de jours d'activité et du coût total	Arntzen et al., 1995
Flexibilité	Maximisation de la capacité du système disponible	Voudouris, 1994

3. Les variables de décision dans la modélisation de la chaîne logistique

Dans la modélisation des chaînes logistiques, les mesures de performance (telles que celles décrites dans la section 4) sont exprimées comme fonctions d'une ou plusieurs variables de décision. Ces variables de décision sont alors choisies de façon à optimiser une ou plusieurs mesures de performance. Les variables de décision utilisées dans les modèles passés en revue sont décrites ci-dessous.

- *Établissement du programme de Production/distribution*: Établissement du programme de la fabrication et/ou de la distribution.
- *Niveaux des stocks*: Détermination de la quantité et de l'emplacement de chaque matière première, assemblage partiel, et stockage de l'assemblage final.
- *Nombre d'étapes (échelons)*: Détermination du nombre d'étapes (ou d'échelons) que comprendra la chaîne logistique. Ceci implique l'augmenter ou la diminution du niveau d'intégration verticale de la chaîne en combinant (ou éliminant) des étapes ou en séparant (ou en ajoutant) des étapes, respectivement.
- *Affectation des centres de distribution (CD) à la clientèle*: Déterminer quel (CD) servira quelle clientèle
- *Affectation des produits aux usines*: Déterminer quelle(s) usine(s) fabriquera quel(s) produit(s).
- *Relations client-fournisseurs*: Déterminer et développer les aspects critiques de la relation client-fournisseurs.
- *Spécifications de l'étape de différenciation du produit*: Déterminer l'étape dans le processus de fabrication du produit dans laquelle le produit devrait être différencié (ou spécialisé).
- *Nombre de types de produit figurant dans le stock*: Déterminer le nombre des différents types de produits qui seront gardés en stock de produits finis.

4. Travaux de recherches

Les modèles étudiés ici, et résumés ci-dessus dans le tableau 1, utilisent un certain nombre de mesures de performance définies dans les sections 4.1 et 4.2. Le tableau 2 résume l'étude passée en revue. Pour chacun des modèles étudiés, le tableau illustre: (1) le type(s) de méthodologie de modélisation utilisée, (2) le mesure(s) de performance utilisée, et (3) la variable(s) de décision utilisée pour optimiser la mesure(s) de performance associée.

Tableau 6 : Résumé revue de la littérature

Auteurs	Types de modèles				Mesures de performance				Variables de décision							
	analytiques déterministes	Analytiques stochastiques	Economiques	Simulation	Coût	Réactivité client/com mandes en attente	Temps d'activité	Flexibilité	Programme de production/ distribution	Niveaux des stocks/ taille des lots	Nombre d'étapes	Affectation des CD aux client/ emplacement	affectation usine-produit	Relation client-fournisseur	Spécification de l'étape de différenciation du produit	Nombre de types de produits gardés en stock
Altiok et Ranjan, 1995		X			X	X				X	X					
Arntzenet al., 1995	X				X		X		X	X		X	X			
Camm et al., 1997	X				X							X				
Christy et Grout, 1994			X		X	X								X		
Cohen et Lee, 1988		X			X					X						
Cohen et Lee, 1989	X				X				X	X						
Cohen et Moon, 1990	X				X				X							
Ishii et al., 1988	X				X	X			X	X						
(Lee et Billington, 1993)		X				X				X						
Lee et Feitzinger, 1995		X			X										X	
Lee et al., 1993		X			X	X				X						
Lee et al., 1997		X			X					X						
Pyke et Cohen, 1993		X			X					X						
Pyke et Cohen, 1994		X			X					X						
Newhart et al., 1993	X				X	X				X						X
Svoronos et Zipkin, 1991		X			X	X				X						
Towill, 1991				X	X					X	X					
Towill et al., 1992				X	X	X				X	X					
Towill et Del Vecchio, 1994	X					X				X						
Tzafestas et Kapsiotis, 1994	X				X					X						
Voudouris, 1996	X							X	X							
Williams, 1981	X				X				X							
Williams, 1983	X				X				X							
Wikner et al., 1991				X	X	X				X	X					

L'approche et l'étendue de la recherche existante dans la conception et de l'analyse des chaînes logistiques illustre un certain nombre de questions qui n'ont pas été encore abordées dans la littérature. Cette section propose une revue des recherches pour la conception et l'analyse de la chaîne logistique dans: (1) l'évaluation et le développement des mesures de performance de la chaîne logistique, (2) le développement de modèles et de procédures visant à relier les variables de décision aux mesures de performance, (3) considération des questions touchant la modélisation de la chaîne logistique, et (4) la classification des systèmes de chaîne logistique afin de permettre le développement de règles de base ou de techniques générales pour aider à la conception et l'analyse des chaînes logistiques de fabrication.

4.1. Mesures de performance de la chaîne logistique

Le tableau 1 identifie les mesures de performance qui ont été employées dans la littérature. Ces mesures, et d'autres, peuvent être appropriées pour la conception et l'analyse de la chaîne logistique. La recherche disponible n'a pas expressément abordé la pertinence ou l'adéquation des mesures de performance existantes de la chaîne logistique.

Plus spécifiquement, les questions de recherches qui peuvent avoir une réponse sont:

- *Les mesures de performance existantes sont-elles appropriées pour les chaînes logistiques?* Il est peu probable qu'une seule mesure de performance soit suffisante pour une chaîne logistique entière (le lecteur intéressé se reportera à **(Beamon, 1996)** pour une évaluation des mesures de performance de la chaîne logistique). Il est plus probable qu'un système ou une fonction de mesures de performance soit nécessaire pour la mesure précise et complète des systèmes de chaîne logistique.
- *Quelles sont les mesures de performance appropriées pour les chaînes logistiques?* Autrement dit, quels types de mesure de performance ou de systèmes de mesure de performance sont appropriés pour l'analyse de la performance d'une chaîne logistique, et pourquoi?

4.2. Optimisation de la chaîne logistique

Un élément important dans la conception de la chaîne logistique est de déterminer comment une conception efficace de la chaîne logistique est réalisée, étant donné une mesure de performance, ou un ensemble de mesures de performance. La recherche dans la modélisation de la chaîne logistique a seulement survolé la façon dont les stratégies de la chaîne logistique (ou les variables de décision) peuvent influencer sur une mesure de performance donnée, ou un ensemble de mesures de performance. **(Lee et Whang, 1993 et Chen, 1997)** sont des exemples de ces recherches. **(Lee et Whang, 1993)** développent un système de mesure de performance qui tente de faire correspondre les indicateurs de performance des gestionnaires de la chaîne logistique avec ceux de la chaîne logistique entière, afin d'essayer de minimiser la perte totale liée aux buts contradictoires. De même, **(Chen, 1997)** étudie également la relation entre les différents

gestionnaires de la chaîne logistique et la chaîne logistique dans son ensemble, mais il le fait sur la base des coûts de stockage. Dans ce travail, Chen cherche à développer des règles de décision optimales des stocks pour les gestionnaires (qui n'ont que l'information locale), il cherche à développer des règles de décision optimales de inventaire pour les directeurs qui ont comme conséquence des coûts de possession et de commande en attente minimums à long terme pour l'ensemble du système.

Le tableau 2 indique que la majorité des modèles utilisent le niveau de stock comme variable de décision et le coût comme mesure de performance. Cependant, comme également indiqué dans le tableau 2, il y a un certain nombre d'autres variables de décision (et peut-être d'autres qui n'ont pas été encore étudiées) qui peuvent être liées de manière appropriée à un système de mesures de la performance composé des mesures énumérées dans le tableau 2 et peut-être d'autres qui n'ont pas encore été étudiées. Ainsi, la recherche nécessite d'approprier les systèmes de mesure de la performance aux variables de décision critiques de la chaîne logistique.

4.3.Problèmes de la modélisation de la chaîne logistique

Dans la modélisation de la chaîne logistique, il y a un certain nombre questions qui suscitent une attention accrue, comme en témoigne leur considération répandue dans le travail passé en revue ici. Ces questions sont : (1) ajournement de produit (product postponement), (2) modélisation de chaîne logistique à une seule nation contre global (global vs. single-nation supply chain), et (3) la distorsion de la demande et l'amplification de la variation.

4.3.1.Ajournement de produit Product postponement

L'ajournement du produit est la pratique consistant à retarder une ou plusieurs opérations à un point postérieur dans la chaîne logistique, retardant ainsi le point de différenciation du produit. Il y a de nombreux avantages potentiels à tirer de l'ajournement, un des plus convaincants est la réduction de la valeur et de la quantité de stocks détenus, ayant pour résultat des coûts de possession plus bas. Il y a deux considérations principales dans le développement d'une stratégie d'ajournement pour un article particulier: Il y a deux considérations primaires en développant une stratégie d'ajournement pour un article particulier : (1) déterminé combien d'étapes à ajourner et (2) déterminer quelles étapes à ajourner. La recherche courante traitant la stratégie d'ajournement comprend **Lee et Feitzinger, 1995 et Johnson et Davis, 1995**.

4.3.2.Modélisation de chaine logistique simple nation Vs mondiale (Global vs.single nation supply chain modeling)

Les chaînes logistiques globales (GSC) sont des chaînes logistiques qui fonctionnent (c.-à-d., contiennent des services) dans plusieurs pays. Dans la modélisation des GSC, il y a des considérations supplémentaires qui influent sur la performance des SC qui ne sont pas présentes dans les chaînes logistique fonctionnant dans une seule nation. Les règlements sur l'exportation, les droits de douane, et les taux de change sont quelques unes des considérations supplémentaires

nécessaires dans ma modélisation des GSC. (Kouvelis et Gutierrez, 1997 ; Arntzen et al., 1995 ; Cohen et Lee, 1989) traitent des problèmes liés à la modélisation des GSC.

4.3.3. Distorsion de la demande et amplification de la variation

La déformation (distorsion) de la demande est le phénomène dans lequel les "ordres au fournisseur ont une plus grande variation que les ventes à l'acheteur" et l'amplification de la variation se produit quand la distorsion de la demande " se propage en amont sous forme amplifiée " (Lee et al., 1997). Ces phénomènes (également connus sous le nom de "l'effet coup de fouet") sont communs dans des systèmes de chaîne logistique et ont été observés par Forrester dès 1961. Les conséquences de l'effet de coup de fouet sur la chaîne logistique peuvent être graves, la plus grave est les coûts de stockage excessifs. En conséquence, un certain nombre de stratégies ont été développées pour contrecarrer les effets de la déformation de la demande et de l'amplification de la variation. Une discussion détaillée des problèmes et des stratégies liés à l'effet coup de fouet peut être trouvée dans (Houlihan, 1987 ; Towill, 1991 ; Newhart et al., 1993 ; Towill, 1996 ; Lee et al., 1997).

4.4. Classement des chaînes logistiques

Les systèmes de chaîne logistique sont complexes. Ainsi, les modèles et les méthodes employés pour étudier précisément ces systèmes sont, comme on peut s'y attendre, aussi complexes. Cependant, si les systèmes de chaîne logistique peuvent être classés sur les bases des caractéristiques spécifiques, telles que l'incertitude ou le volume de la demande, le nombre d'échelons, ou le nombre d'articles produits, il peut y avoir des règles approximatives qui proposent des caractéristiques opérationnelles qui peuvent atteindre un certain objectif (ou un ensemble d'objectifs). Ainsi, la recherche qui développe un schéma de classification significatif pour les systèmes de chaîne logistique est nécessaire, elle conduit vers des associations de règles approximatives entre les variables de décision et des objectifs de performance.

5. Les aspects financiers dans la chaîne logistique

Un grand nombre d'ouvrages existe sur l'analyse de la SC et l'optimisation ([Bok et al, 2000]; [Tsiakis et al, 2001]; [Cheng et al, 2003]; [Guillen et al, 2005 a, b, c, 2006]). Les modèles traditionnels de la SC se concentrent uniquement sur la détermination du bénéfice ou la maximisation du revenu, ou le programme de minimisation du coût de fabrication dans une SC depuis les fournisseurs aux usines de fabrication aux points de distribution et, enfin, aux points de ventes. Ces modèles négligent les conséquences des flux financiers sur le plan de production optimal.

Jusqu' à aujourd'hui, les processus opérationnels et les finances ont été traités comme des problèmes distincts et les approches de modélisation qui les soutiennent ont été traditionnellement mises en œuvre dans des environnements indépendants. Bien que la nécessité

de tenir compte des aspects financiers en construisant des modèles de processus opérationnels ait été soulignée dans la littérature ([Applequist et al, 2000]; [Shapiro, 2001];[Shah, 2005]), l'intégration des deux secteurs a jusqu'ici suscité peu d'attention et attend actuellement davantage d'études.

Cependant, les travaux de [Romero et al, 2003] et [Badell et al, 2004], qui portent sur l'intégration des aspects financiers avec la planification à court terme des processus dans l'industrie chimique, sont des contributions appréciées dans le domaine. Au niveau de la conception, [Yi et Reklaitis, 2004] ont également présenté une analyse intégrée des décisions de production et de financement concernant la conception optimale des réseaux de stockage.

Un outil intégré pour le SCM permettrait aux gestionnaires de "jouer" avec les différentes solutions de planification en tenant compte de toute l'information disponible et d'avoir une idée claire des conséquences de chaque alternative testée. Avec cette aide, il est possible d'évaluer correctement l'impact des décisions des processus opérationnels sur le secteur financier dans le SCM. Cette nouvelle philosophie permettra aux directeurs d'acquérir un avantage concurrentiel par rapport à ceux qui ne vérifient ni la faisabilité ni l'optimalité des décisions de processus opérationnels du point de vue financier.

Conclusion

Une chaîne logistique est définie comme un ensemble de relations entre des fournisseurs, des fabricants, des distributeurs, et des détaillants qui facilite la transformation des matières premières en produits finis. Bien que la chaîne logistique soit composée d'un certain nombre de composants métier, la chaîne elle-même est considérée comme une seule entité. Traditionnellement, les praticiens et les chercheurs ont limité leurs analyses et portée à des étapes individuelle dans la chaîne étendue, mais ils ont récemment identifié un besoin d'une approche plus intégrée pour la conception du système de fabrication. Par conséquent, le cadre de chaîne logistique est apparu comme un élément important de cette approche nouvelle et intégrée.

L'objectif de ce chapitre est double:

- (1) Fournir un examen ciblé de la littérature dans la modélisation de la chaîne logistique
- (2) Souligner l'importance d'intégrer les aspect financiers avec les processus opérationnels dans la modélisation des chaines logistiques.

Cette intégration sera traitée dans le prochain chapitre.

Chapitre4 :

Le modèle de Planification Intégré

Introduction

Le SCM recherche l'intégration d'une usine avec ses fournisseurs et ses clients afin d'être contrôlée dans l'ensemble, et la coordination de tous les flux d'entrée-sortie (flux de matière, informationnels et de financiers) de sorte que les produits soient fabriqués et distribués à la bonne quantité, au bon endroit, et au bon moment [Simchi-Levi et al, 2000].

Le but de ce chapitre est de présenter des considérations budgétaires dans un modèle de base de SC et de diriger l'attention de la gestion dans le processus de planification de la production vers l'objectif plus général de maximiser les profits de l'entreprise.

Le chapitre est structuré comme suit :

D'abord, un modèle de planification déterministe, standard de SC est présenté; Puis, des modèles financiers sont passés en revue, et un modèle financier approprié au SCM est décrit. Ensuite, le modèle déterministe intégré, qui combine les opérations de la SC et les finances, est présenté.[Gonzalo et al, 2007].

Enfin, un modèle intégré développé à partir des travaux de [Gonzalo et al, 2007] est adapté à une entreprise de production agroalimentaire et les résultats expérimentaux sont présentés.

1.Ordonnancement et planification:

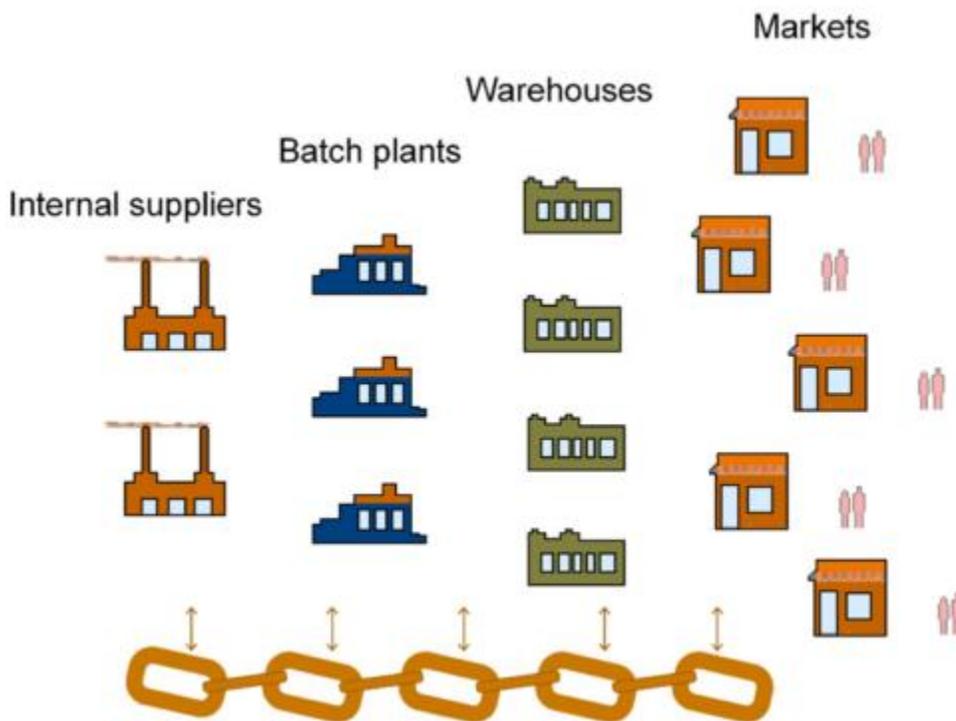


Figure 24 : Structure de la chaîne logistique

La formulation mathématique présentée a été obtenue à partir de la structure de la SC à quatre échelons donnée dans la Figure.1. Cependant, le modèle peut être étendu à des structures plus complexes de SC. La SC mentionnée ci-dessus inclut les éléments suivants:

- Un ensemble de fournisseurs externes qui fournissent les matières premières, les produits intermédiaires et les produits finis aux usines, aux entrepôts et aux marchés.
- Un ensemble de fournisseurs internes, qui produisent des produits intermédiaires à partir des matières premières fournies par les fournisseurs externes.
- Un ensemble d'usines où les produits finis sont manufacturés avant d'être envoyé aux entrepôts. Ce travail comprend les SC avec des usines intégrées à multiples produits. On considère que les matières premières sont transférées à partir des stocks vers l'unité de production, et à la fin du processus, les produits sont directement transférés aux camions pour être transportés aux différents clients ou aux stocks.
- Un ensemble d'entrepôts où les produits sont stockés avant d'être transportés aux marchés finaux.
- Un ensemble de marchés finaux où les produits sont à la disposition des clients.

Une représentation du temps qui permet l'accommodation des incertitudes en utilisant une formulation déterministe appelée "Rolling horizon mode" (mode horizon mobile) [Reklaitis, 1982], a été adoptée pour l'établir le programme de planification intégrée de la SC avec les usines intégrées. C'est-à-dire, l'horizon des opérations est divisé en un certain nombre de périodes, et le modèle avec des prévisions de demande appropriées est résolu pour obtenir des décisions de planification pour chaque période, et seulement celles qui appartiennent à la première période sont mises en application. À la fin de la première période, l'état du système, y compris les niveaux de stocks, est mis à jour et le cycle est répété avec l'horizon avancé par une période considérant la demande prévue pour la nouvelle période. Par conséquent, la formulation déterministe décrite ci-après comporte un ensemble de périodes de planification, et seulement la première inclut les décisions du programme détaillées avec des incréments de temps plus courts. Ce détail de période se déplace pendant que le modèle est résolu à temps, d'où le terme "horizon mobile".

Par ailleurs, les contraintes d'établissement du programme fournissent une évaluation précise des limites de capacité de l'usine pour la première période de planification, dans laquelle les décisions sont mises en application en temps réel. Quand de telles contraintes ne sont pas ajoutées, les taux de production calculés par la formulation de planification surestiment ou sous-estiment habituellement la vraie capacité de l'usine menant de ce fait aux plans infaisables ou suboptimaux. En fait, historiquement, dans les usines complexes le plan d'affaire surestime la vraie capacité de l'usine parce que les interactions entre les lots ne sont pas prises en considération [Raaymakers et al, 1997].

Le modèle proposé divise l'horizon de planification et d'ordonnancement H en un ensemble de périodes $H1$ où la production est planifiée en utilisant les demandes, connues et estimées. La première période de l'horizon du temps est divisée en plusieurs intervalles de temps $H2$ de longueur inférieure où la production est programmée (voir le Figure 2). Le modèle doit être ré exécuté à chaque période $H1$ que les prévisions deviennent des ordres réels. Par conséquent, les résultats des périodes de planification au delà de la première période actuelle $H1$ n'atteindront jamais l'exécution. Cependant, il est important de les considérer lors de la résolution de l'horizon de planification, parce qu'on peut considérer la possibilité de programmation dans la première période de planification de la production des matériaux requis dans des périodes postérieures et les garder comme stock.

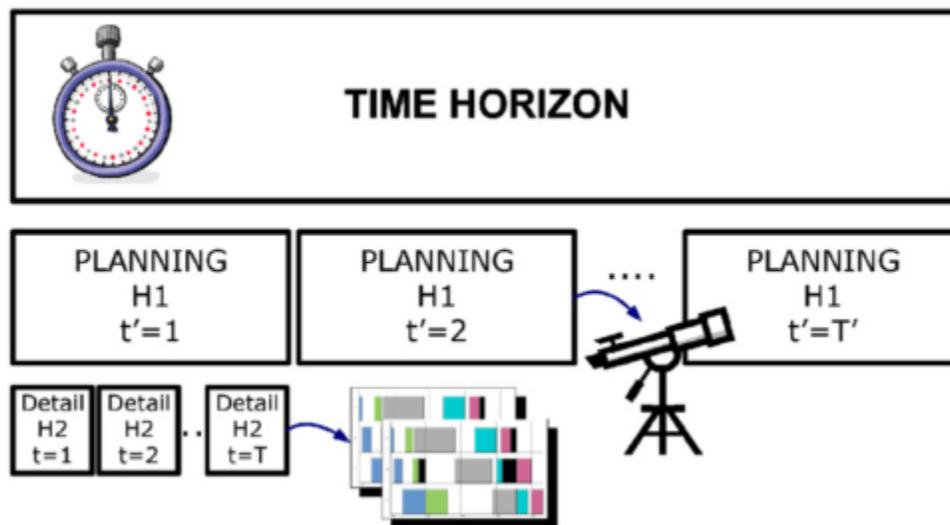


Figure 25 : Représentation du temps

1.1.Première étape: l'ordonnancement détaillé :

Ici, les programmes de production détaillés des usines intégrées dans la SC et les décisions de transport à mettre en application à travers les nœuds sont calculés. La première période de temps $H1$ est divisée en t intervalles de type $H2$ de longueur inférieure. Deux type de contraintes sont considérés au cours de cette première période, les équations de bilan de matière et les contraintes de calendrier. Les deux ensembles d'équations sont décrits après.

1.1.1.Contraintes de bilan de matière :

Ces équations sont nécessaires afin d'assurer les bilans de matière dans chacun des emplacements intégrés dans la SC (les fournisseurs internes IS, les usines BP, les entrepôts WH et les marchés finaux MK).

Par conséquent, pour chaque intervalle de temps t la quantité totale du produit intermédiaire p fabriqué par un fournisseur interne i (Q_{ipt}^{IS}) plus le stock initial de p gardé à i (INV_{ipt-1}^{IS}) doit être

égal à la quantité de p transportée de i aux usines j (A_{ijpt}) plus le stock final (INV_{ipt}^{IS}) conservé à i , comme indiqué par l'équation (1):

$$Q_{ipt}^{IS} + INV_{ipt-1}^{IS} = \sum_j A_{ijpt} + INV_{ipt}^{IS} \quad \forall i, p, t. \quad (1)$$

En outre, dans chaque période de planification t , la quantité de matière première r transportée des fournisseurs externes e aux fournisseurs internes i (ES_{eirt}^{IS}) plus le stock initial de r gardé à i (INV_{irt-1}^{IS}) doit être égal à la quantité de r consommée dans la fabrication du produit intermédiaire p à i (Q_{ipt}^{IS} multiplié par un coefficient de conversion de masse α_{rp}), plus le stock final de r à i (INV_{irt}^{IS}) comme il est exprimé dans la contrainte (2):

$$\sum_e ES_{eirt}^{IS} + INV_{irt-1}^{IS} = \sum_p Q_{ipt}^{IS} \cdot \alpha_{rp} + INV_{irt}^{IS} \quad \forall i, r, t. \quad (2)$$

Les équations (3) et (4) expriment les bilans de matière pour les usines en lots, et sont semblables aux contraintes (1) et (2). Dans ce cas, les usines peuvent recevoir des produits intermédiaires d'un fournisseur externe ou interne. Dans ces équations, $Qout_{jft}^{BP}$ représente la quantité total du produit fini f fabriqué à l'usine j pendant l'intervalle de temps t , INV_{jpt}^{BP} et INV_{jft}^{BP} les stocks initiaux du produit intermédiaire p et du produit final f , respectivement, conservé à j , B_{jkft} la quantité de f transportée de l'usine en lots j aux entrepôts k , ES_{ejpt}^{BP} la quantité du produit intermédiaire p transporté depuis les fournisseurs externes e jusqu'aux usines j dans l'intervalle de temps t , t_{ij} la durée de séjour entre i et j et β_{fp} un coefficient de conversion de masse.

$$Qout_{jft}^{BP} + INV_{jft-1}^{BP} = \sum_k B_{jkft} + INV_{jft}^{BP} \quad \forall j, f, t \quad (3)$$

$$\sum_e ES_{ejpt}^{BP} + \sum_i A_{ijpt-t_{ij}} + INV_{jpt-1}^{BP} = \sum_f Qin_{jft}^{BP} \cdot \beta_{fp} + INV_{jft}^{BP} \quad \forall j, p, t. \quad (4)$$

L'équation(5) assure le bilan de matière pour les entrepôts. ES_{ekft}^{WH} est la quantité de f fournie par le fournisseur externe e à l'entrepôt k dans l'intervalle de temps t , INV_{kft-1}^{WH} le stock initial de f conservé à l'entrepôt k et C_{klft} la quantité du produit fini f envoyé de l'entrepôt k aux marchés l .

$$\sum_e ES_{ekft}^{WH} + \sum_j B_{jkft-t_{jk}} + INV_{kft-1}^{WH} = \sum_l C_{klft} + INV_{kft}^{WH} \quad \forall k, f, t. \quad (5)$$

La contrainte (6) représente les bilans de matière pour les marchés. Les marchés se comportent comme des entrepôts dans lesquels l'épuisement des matières est dû aux ventes des produits.

Par conséquent, pour chaque intervalle de temps t , la quantité de f achetée aux fournisseurs externes e (ES_{elft}^{MK}) plus la quantité du produit fini f venant des entrepôts k ($C_{klft-t_{kl}}$) plus le stock initial de f gardé à l (INV_{lft-1}^{MK}) doit être égal à la quantité de f vendue au marché l ($Sales_{lft}$) plus le stock final de f à l (INV_{lft}^{MK}).

$$\sum_e ES_{elft}^{MK} + \sum_k C_{klft-t_{KL}} + INV_{lft-1}^{MK} = Sales_{lft} + INV_{lft}^{MK} \quad \forall l, f, t. \quad (6)$$

En conclusion, les ventes du produit fini f effectué sur le marché k pendant l'intervalle de temps t ($Sales_{lft}$) sont contraintes à être inférieures ou égales à la demande (7). Nous considérons ainsi dans ce travail que, contrairement à d'autres travaux dans la littérature, une partie de la demande peut effectivement être non satisfaite en raison des limites de capacité.

$$Sales_{lft} \leq Dem_{lft} \quad \forall l, f, t. \quad (7)$$

1.1.2. Contraintes liées au calendrier :

Ces contraintes permettent de calculer le temps initial et final de toutes les tâches impliquées dans la production des lots fabriqués dans les usines et d'assurer également la faisabilité des programmes correspondants. La formulation proposée est basée sur un concept de division en lots. Avec cette formulation l'horizon du temps est considéré comme une séquence de lots, dont chacun est affecté à un produit particulier. Le nombre maximum de lots qui peuvent être fabriqués à chaque usine j peut être estimé sur la base des limitations de capacité ou donné par le décideur. Les séquences de décisions sont liées à une variable binaire $X_{jl,f}$ qui représente l'existence d'un lot l_j du produit final f à l'usine j et prend la valeur 1 au cas où l_j appartiendrait à f et 0 sinon.

$$X_{jl,f} = \begin{cases} 1 & \text{si le lot } l_j \text{ fabriqué à l'usine } j \text{ appartient au produit final } f \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

$$\sum_f X_{jl,f} \leq 1 \quad \forall j, l_j \quad (8)$$

$$\sum_f X_{jl,f} \leq \sum_f X_{jl+1,f} \quad \forall l_j < L_j \quad (9)$$

Ainsi, d'après l'équation (8) un lot l_j ne peut pas appartenir à plus d'un produit f , alors que la contrainte (9) est appliquée pour s'assurer que les lots non-produits sont situés au début du programme. Bien que la contrainte (9) ne soit pas nécessaire, elle aide aux calculs. En effet, en fixant la position des lots non-produits nous obtenons des arbres "branch-and-bound" plus petits et des temps de calcul plus courts. La position spécifique de ces lots non-produits (au début du programme) est absolument arbitraire, et est choisie pour la simplicité.

En ce qui concerne les tâches de production accomplies à l'usine et afin de réduire la complexité de la formulation, seul le cas d'une politique zéro attente (ZW) est ici considéré. Ni le stockage intermédiaire ni les temps d'attente dans les unités de traitement ne sont disponibles. Dans le cadre de la politique de ZW, il ne peut y avoir aucun retard entre le moment où un lot de produit termine d'être traité sur l'étape o ($TF_{jl,o+1}$) et le temps où débute le traitement à l'étape $o+1$ ($TI_{jl,o+1}$) comme indiqué par la contrainte (10).

$$TI_{jl,o+1} = TF_{jl,o} \quad \forall j, l_j, o < 0. \quad (10)$$

Le temps de fin de l'étape o à l'usine j impliquée dans la production du lot l_j (TF_{jl_o}) est calculé de la période initiale de o à j (TI_{jl_o}) et son temps de fonctionnement, qui est indiqué par la recette du produit le lot appartient à (top_{jfo}), comme il est exprimé dans la contrainte (11).

$$TF_{jl_o} = TI_{jl_o} + \sum_f top_{jfo} \cdot X_{jl_f} \quad \forall j, l_j, o. \quad (11)$$

L'hypothèse de ZW ayant pour résultat les équations. (10) et (11) peut être facilement modifiés afin de considérer d'autres politiques de transfert.

On a également supposé que seule une ligne de production avec un équipement affecté par étape est disponible. Par conséquent, l'étape o impliquée dans la fabrication du lot l'_j à l'usine j doit commencer après la fin de la même étape o exécutée dans n'importe quel lot précédent comme il est exprimé dans l'équation (12).

$$TI_{jl'_o} \geq TF_{jl_o} \quad \forall j, o, l'_j > l_j \quad (12)$$

Enfin, le temps initial et le temps final de n'importe quelle étape o de l_j à l'usine j sont contraints d'être inférieurs à l'horizon de temps H fourni l_j est produit (les contraintes (13) et (14)).

$$TI_{jl'_o} \leq H \cdot \sum_f X_{jl_f} \quad \forall j, l_j, o. \quad (13)$$

$$TF_{jl_o} \leq H \cdot \sum_f X_{jl_f} \quad \forall j, l_j, o. \quad (14)$$

Le montant total du produit f fabriqué à l'usine j pendant la période t ($Qout_{jft}^{BP}$) est calculé en additionnant toutes les tailles des lots bs_{jf} des l_j de f produits pendant la période t comme exprimé par l'équation (15).

$$Qout_{jft}^{BP} = \sum_{l_j} bs_{jf} \cdot X_{jl_f} \cdot Y_{jl_t} \quad \forall j, f, t. \quad (15)$$

Dans cette équation, Y_{jl_t} est une variable binaire utilisée pour affecter les lots à des périodes de temps, et prend la valeur 1 si la dernière étape du lot l_j fabriqué à l'usine j est terminée dans l'intervalle de temps t et 0 sinon. Si les limites de l'intervalle $t \in [1, NT]$, où NT représente le nombre total de périodes dans lesquelles l'horizon de planification est divisé, et sont notés \bar{T}_{t-1} et \bar{T}_t , la définition ci-dessus peut être représentée par les contraintes linéaires suivantes:

$$Y_{jl_t} = \begin{cases} 1 & \text{si } TF_{jl_o} \in [\bar{T}_{t-1}, \bar{T}_t] \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

$$\sum_t Y_{jl_t} = 1 \quad \forall j, l_j \quad (16)$$

$$\sum_t TF'_{jl_{ot}} = TF_{jl_o} \quad \forall j, l_j, t. \quad (17)$$

$$Y_{jl_t} \cdot \bar{T}_{t-1} \leq TF'_{jl_{ot}} \leq Y_{jl_t} \cdot \bar{T}_t \quad \forall j, l_j, t. \quad (18)$$

La contrainte (16) s'assure que chaque lot l_j soit terminé au cours d'une seule période de temps, c.-à-d. seulement une des variables $Y_{jl,t}$ (disons, pour $t = t^*$) prend la valeur 1, toutes les autres étant égales à 0. La contrainte (18) affecte chacun des lots à son intervalle de temps correspondant en utilisant la variable binaire définie $Y_{jl,t}$. Cette équation pousse la variable auxiliaire continue TF'_{jl,O_t} vers 0 pour tout $t \neq t^*$, tout en limitant également TF'_{jl,O_t} dans l'intervalle $[\bar{T}_{t^*-1}, \bar{T}_{t^*}]$. Enfin, la contrainte (17) exprime la condition pour laquelle l'addition de la variable auxiliaire TF'_{jl,O_t} au delà de t doit être égale au temps où le lot l_j finit sa dernière étape O , ce qui implique que $TF'_{jl,O} = TF'_{jl,O_{t^*}}$ et, donc $TF'_{jl,O} \in [\bar{T}_{t^*-1}, \bar{T}_{t^*}]$ comme voulu.

Des contraintes similaires peuvent être dérivées afin de lier les équations de planification à la quantité de f fabriquée à l'usine j pendant la période t (Qin_{jft}^{BP}). Dans ce cas, une variable binaire $Y'_{jl,t}$ est définie, elle prend la valeur 1 si le lot l_j est lancé dans l'intervalle t ou 0 sinon.

Par conséquent, la contrainte (19) s'assure que chaque lot l_j appartient à seulement une période de temps, alors que les équations (20) et (21) sont utilisées pour affecter l_j au bon intervalle de temps, en utilisant la variable auxiliaire continue TI'_{jl,O_t} .

$$\sum_t Y'_{jl,t} = 1 \quad \forall j, l_j, \quad (19)$$

$$\sum_t TI'_{jl,O_t} = TF'_{jl,O} \quad \forall j, l_j, \quad (20)$$

$$Y'_{jl_j} \cdot T_{t-1} \leq TF'_{jl,O_t} \leq Y'_{jl,t} \cdot T_t \quad \forall j, l_j, t. \quad (21)$$

La quantité totale du produit f fabriqué à l'usine j pendant la période t (Qin_{jft}^{BP}) est finalement déterminée au moyen de l'équation (22).

$$Qin_{jft}^{BP} = \sum_{l_j} bs_{jf} \cdot X_{jl_j,f} \cdot Y'_{jl,t} \quad \forall j, f, t. \quad (22)$$

1.2 Deuxième étape: planification de la production :

À l'étape de production, t' périodes sont considérées.

Ici, ni le nombre exact de lots produits ni leur ordre dans les lignes de fabrication sont calculés au cours de chaque période, à l'exception du premier, mais il est estimé au moyen des facteurs de capacité.

Les équations correspondantes (contraintes (23) – (29)) sont en effet égales à celles utilisées précédemment. Dans ce cas, la longueur des intervalles HI pour lesquels elles sont définies est plus grande que celle des périodes de planification $H2$.

$$Q_{H1ip't}^{IS} + INV_{H1ip't-1}^{IS} = \sum_j A_{H1ijp't} + INV_{H1ip't}^{IS} \quad \forall i, p, t', \quad (23)$$

$$\sum_e ES_{H1irt'}^{IS} + INV_{H1irt'-1}^{IS} = \sum_p Q_{H1ip't}^{IS} \cdot \alpha_{rp} + INV_{H1irt'-1}^{IS} \quad \forall i, r, t', \quad (24)$$

$$Qout_{H1jft'}^{BP} + INV_{H1jft'-1}^{BP} = \sum_k B_{H1jkft'} + INV_{H1jft'}^{BP} \quad \forall j, f, t', \quad (25)$$

$$\sum_e ES_{H1jft'}^{BP} + \sum_i A_{H1ijp't-i_j} + INV_{H1jft'-1}^{BP} = \sum_f Qin_{H1jft'}^{BP} \cdot \beta_{fp} + INV_{H1jft'}^{BP} \quad \forall j, p, t', \quad (26)$$

$$\sum_e ES_{H1ekft'}^{WH} + \sum_j B_{H1jkft'-t_jk} + INV_{H1ekft'}^{WH} = \sum_l C_{H1klft'} + INV_{H1klft'}^{WH} \quad \forall k, f, t', \quad (27)$$

$$\sum_e ES_{H1elft'}^{MK} + \sum_k C_{H1klft'-t_kd} + INV_{H1elft'-1}^{MK} = Sales_{H1elft'} + INV_{H1elft'}^{MK} \quad \forall l, f, t', \quad (28)$$

$$Sales_{H1elft'} \leq Dem_{H1elft'} \quad \forall l, f, t', \quad (29)$$

La relation entre les variables de planification détaillées appliquées aux périodes *H2* et celles appartenant aux intervalles de planification *H1* est effectuée en imposant le montant total de matériaux fabriqués dans tous les intervalle de temps de planification *t* pour égaler la quantité produite dans la première période de planification.

La quantité de matériaux fabriqués, stockés et transportés à travers les différents emplacements de la SC peut être contrainte à être inférieure aux capacités supérieures, qui devraient être données par la structure du réseau.

La fonction objectif du modèle de planification est de maximiser le bénéfice global, en ignorant les effets négatifs et positifs possibles sur la trésorerie. Par conséquent, cette performance est calculée comme la somme des entrées d'argent provenant des ventes de produits moins les dettes contractées dans toutes les périodes. Les passifs à une période spécifique sont dues aux achats de matières premières, exécution des tâches, des activités de stockage et de transport, et des achats d'une partie du produit nécessaire d'un fournisseur externe (outsourcing).

2. Gestion de la trésorerie:

Un certain nombre de modèles de budgétisation sont apparus dans la littérature de la fin des années 50, quand les méthodes de programmation linéaire de calcul ont également émergé ([Baumol, 1952]; [Robichek et al, 1965]; [Miller et Orr, 1966]; [Lerner et Stone, 1968]; [Orgler, 1969]). Dans le travail de [Srinivasan, 1986] une revue des modèles déterministes de gestion de la trésorerie peut être trouvée.

Dans cette approche, la gestion à court terme de la trésorerie associée au fonctionnement de la SC est analysée en fusionnant une formulation du budget à court terme avec la formulation de planification de SC présentée précédemment. La connexion entre les deux modèles est ainsi réalisée en tenant compte des entrées et sorties d'argent provenant de l'exploitation du réseau. Ces flux sont donnés par les dates et les tailles des achats de matières premières et des services aux fournisseurs (sorties de trésorerie) et par les ventes des produits finis aux clients (entrées de trésorerie).

En conséquence de cette connexion entre les formulations complémentaires, un modèle intégré qui reflète une vision globale de l'entreprise est construit. Ce modèle permet le calcul simultané des décisions optimales pour les deux secteurs (c.-à-d., les processus opérationnels et les finances). Les paiements aux fournisseurs, les impôts, les emprunts à court terme (ligne de crédit) sont ainsi programmés ainsi que les tâches de travail effectuées dans les entités de la SC. Le modèle inclut les catégories du bilan (les actifs courants et le passif) nécessaires pour calculer la variation des capitaux propres et un ensemble de contraintes budgétaires qui représentent les soldes de trésorerie, la dette, les valeurs mobilières, les impôts et ainsi de suite. Le modèle est ensuite présenté.

2.1 Modèle de budgétisation (économique):

Les variables et les contraintes économiques de ce modèle devraient être déterminées selon des règles spécifiques applicables (amortissement), la législation (taxes), etc. Ceci peut conduire à différentes formulations selon le cas étudié. Pour surmonter ce problème, un ensemble d'équations générales a été développé et qui prévoient de refléter un cas standard.

Cette formulation mathématique pourrait être facilement adaptée à d'autres cas particuliers.

Les contraintes budgétaires sont définies pour les mêmes périodes de planification t' appliquées dans la formulation de planification. Ces périodes couvrent la totalité de l'horizon de temps, y compris les intervalles d'ordonnancement détaillés (voir la fig.2), et permettent l'intégration des contraintes budgétaires avec les équations des processus opérationnels.

Le solde de trésorerie pour les périodes HI est donné par la contrainte (30).

$$Cash_{t'} = Cash_{t'-1} + ECash_{t'} + Net_{t'}^{Credit} + Net_{t'}^{MS} - \sum_{e,t''} Pay_{et''}^{RM} - \sum_{t''} Pay_{et''}^{PR} - \sum_{t''} Pay_{et''}^{TR} - Div_{t'} + Others_{t'} \quad \forall t'. \quad (30)$$

Dans cette équation, l'argent pour chaque période t' ($Cash_{t'}$) est calculé à partir des entrées et sorties de trésorerie. Ici, $Cash_{t'}$ est une fonction de la trésorerie précédente ($Cash_{t'-1}$), la trésorerie exogène ($ECash_{t'}$), le montant emprunté ou remboursé à la ligne de crédit ($Net_{t'}^{Credit}$), les ventes et les achats de titres négociables ($Net_{t'}^{MS}$), les paiements sur comptes créditeurs engagés dans toute période précédente ou actuelle t'' ($Pay_{et''}^{RM}$, $Pay_{et''}^{PR}$ and $Pay_{et''}^{TR}$), les dividendes ($Div_{t'}$) et les autres sorties ou entrées d'argent prévues ($Others_{t'}$). La trésorerie exogène concerne l'argent provenant des ventes de produits finis ou des immobilisations, de la mise en gage de créances, ou de toute autre source de liquidité. Les paiements auxquels l'agent financier doit faire face sont dus à la consommation des matières premières, aux services de travail et de transport, et également aux dividendes (c.-à-d., le montant des retraits d'espèce de l'entreprise à un instant donné et partagé entre les actionnaires de l'entreprise. Les différents termes de solde de trésorerie sont décrits en détail ci-après.

$$\sum_{t' \leq t'' < t' + t_{del}} Pled_{t''} \leq AInc_{t'} \quad \forall t'. \quad (31)$$

Une certaine proportion des comptes débiteurs peut être mise en gage au début d'une période. La mise en gage est le transfert d'une créance à partir du créancier précédent (cédant) à un nouveau créancier (cessionnaire).

Quand une société met en gage ses futures créances, elle reçoit dans la même période, seulement une partie, normalement 80% de leur valeur nominale. Ainsi, on peut supposer qu'une certaine proportion des créances en circulation au début d'une période soit reçue durant cette période par l'engagement comme indiqué par l'équation (31). Dans cette équation, la variable $Pled_{t''}$ représente le montant mis en gage dans l'intervalle de temps t'' sur les comptes débiteurs apparaissant dans la période t' et venant à échéance durant la période $t' + t_{del}$. Nous avons supposé dans cette formulation que tous les débiteurs ont la même période de maturation. Cette considération peut être facilement modifiée afin de refléter des situations plus complexes.

La mise en gage représente un moyen de financement très coûteux qui ne sera utilisée que lorsque l'on ne peut obtenir plus de crédit auprès de la banque.

$$ECash_{t'} = AInc_{t' - t_{del}} - \sum_{t' - t_{del} \leq t'' < t'} Pled_{t''} + \sum_{t' - t_{del} \leq t'' < t'} Pled_{t''} \cdot \phi \quad \forall t'. \quad (32)$$

La trésorerie exogène est alors calculée au moyen de l'équation (32), comme la somme des comptes débiteurs encourus dans la période $t' - t_{del}$ et prévu d'être collectés dans la période t' , plus l'argent obtenu par la mise en gage des comptes débiteurs encourus dans les périodes de $t' - t_{del} + 1$ à t' . Les comptes débiteurs devant être collecté pendant la période t' sont calculés comme la différence entre le montant total des comptes encourus dans la période $t' - t_{del}$ moins le montant de ces comptes mis en gage pendant la périodes $t' - t_{del}$ à $t' - 1$. Dans cette équation, ϕ représente la valeur nominale des créances mises en gage, normalement 80%:

$$Cash_{t'} \geq MinCash \quad \forall t' \quad (33)$$

L'équation (33) limite la trésorerie dans chaque période ($Cash_{t'}$) à être supérieur à une valeur minimum ($MinCash$), qui a été précédemment négociée avec la banque.

Une source de financement à court terme est représentée par une ligne de crédit ouverte contrainte par $MaxDebt$.

Aux termes d'un accord avec la banque, des prêts peuvent être obtenus au début de n'importe quelle période et sont soumis après une semaine à un taux d'intérêt mensuel (F) selon l'accord de la banque. La banque exige habituellement un solde compensateur (balance de compensation), c.-à-d. un pourcentage du montant emprunté (normalement un 20%).

Par conséquent, la trésorerie minimum ($MinCash$) doit être supérieure au solde de compensation imposé par la banque.

$$Debt_{t'} = Debt_{t'-1} + Borrow_{t'} - Pay_{t'}^{Debt} + F \cdot Debt_{t'-1} \quad \forall t', \quad (34)$$

$$Net_{t'}^{Credit} = Borrow_{t'} - Pay_{t'}^{Debt} \quad \forall t', \quad (35)$$

$$Debt_{t'} \leq MaxDebt \quad \forall t', \quad (36)$$

Les équations (34)-(35) font un bilan (équilibre) sur la ligne de crédit en considérant pour chaque période la dette mise à jour ($Debt_{t'}$) à partir des périodes précédentes et de l'équilibre entre les emprunts et les remboursements ($Net_{t'}^{Credit}$).

L'équation (36) définit la dette maximale autorisée (MaxDebt) que la banque a accordé à l'entreprise.

$$Net_{t'}^{MS} = S_{t'}^{MS} - \sum_{t'' \geq t'} Y_{t''}^{MS} + \sum_{t'' \geq t'} Z_{t''}^{MS} + \sum_{t'' < t'} Y_{t''}^{MS} \cdot (1 + D_{t''}^{MS}) - \sum_{t'' < t'} Z_{t''}^{MS} \cdot (1 + E_{t''}^{MS}) \quad \forall t' \quad (37)$$

L'équation (37) fait un bilan des titres négociables. Tous les titres négociables peuvent être vendus avant leur échéance avec une remise ou à perte pour l'entreprise. Les revenus et les coûts liés aux transactions en titres négociables sont donnés par les coefficients techniques $D_{t''}^{MS}$ et $E_{t''}^{MS}$, respectivement. $Y_{t''}^{MS}$ est l'argent investi à la période t'' sur les titres venant à échéance à la période t' . $Z_{t''}^{MS}$ est le flux d'entrée d'argent obtenu par le titre vendu à la période t'' venant à échéance (mûrissant) à la période t' .

Par conséquent, le flux net de trésorerie dû aux transactions des titres est calculé du portefeuille initial de titres négociables détenus par l'entreprise au début de la première période ($S_{t'}^{MS}$), qui inclut plusieurs ensembles de titres avec des valeurs nominales connues en unités monétaires (u. m.), l'argent investi durant t'' sur les titres négociables arrivant à échéance dans les périodes au delà de t' , les titres négociables vendus avant échéance dans la période t'' et les titres achetés et vendus durant les périodes précédentes à t'' et arrivant à échéance durant t' .

$$\sum_{t'' < t'} Z_{t''}^{MS} \cdot (1 + E_{t''}^{MS}) \leq S_{t'}^{MS} + \sum_{t'' < t'} Y_{t''}^{MS} \cdot (1 + D_{t''}^{MS}) \quad \forall t'. \quad (38)$$

L'équation (38) est appliquée pour contraindre le montant total des titres négociables vendus avant l'échéance à être inférieurs à ceux disponibles (ceux appartenant au portefeuille initial plus ceux achetés dans les périodes précédentes).

En ce qui concerne les comptes à payer (matières premières, production et prestations de transport) on suppose que l'agent financier, à son choix, peut étendre ou retarder les paiements sur ces comptes.

Des réductions pour le paiement immédiat peuvent être obtenus si les achats sont payés à temps et ne peuvent pas être prises si les paiements sont retardés.

$$\sum_{t'' \geq t'} Pay_{et't''}^{RM} \cdot Coef_{et't''}^{RM} \leq Purch_{et'}^{RM} \quad \forall e, t', \quad (39)$$

$$\sum_{t'' \geq t'} Pay_{t't''}^{PR} \cdot Coef_{t't''}^{PR} \leq Purch_{t'}^{RM} \quad \forall, t', \quad (40)$$

$$\sum_{t'' \geq t'} Pay_{t't''}^{TR} \cdot Coef_{t't''}^{TR} \leq Purch_{t'}^{TR} \quad \forall, t', \quad (41)$$

Comme il n'est pas raisonnable d'exiger que les comptes totaux à payer soient nuls à la fin de la période de planification, les contraintes de paiement sont formulées comme inégalités comme indiqué par les équations (39) –(41), où les coefficients techniques ($Coef_{et't''}^{RM}$, $Coef_{t't''}^{PR}$ et $Coef_{t't''}^{TR}$) qui multiplient les paiements exécutés durant les périodes t'' par les comptes créditeurs encourus durant t' , sont présentés dans la formulation pour tenir compte des limites de matières premières, et les crédits de production de transport, c.-à-d. 2% —une semaine, les jours net-28.

En ce qui concerne les dividendes, celles-ci sont tirées du système sous la forme de revenus d'entreprise, qui pourrait être utilisées comme dividendes des actionnaires ou réinvesties. On suppose que le montant exact d'argent à retirer du budget est connu à l'avance car il a été précédemment négocié avec les actionnaires de l'entreprise.

2.2 Fonction objectif:

Les objectifs les plus couramment durant les dernières décennies sont: le "makespan" (la plus grande date de fin), le coût, le profit. Cependant, pendant des années pris des décisions on été prise en tenant compte d'autres indicateurs tels que le marché à valeur comptable, ratios de liquidité, retour sur les capitaux propres, marge de vente, ratios de chiffre d'affaires et ratios de stocks de sécurité, entre autres.

Néanmoins, l'amélioration directe de la valeur de l'actionnaire dans l'entreprise semble être la priorité d'aujourd'hui. Ceci peut être amélioré en maximisant le changement des capitaux propres de la société ($\Delta Equity$).

La variation des capitaux propres peut être calculée comme la différence nette entre la variation de l'actif, qui inclut à la fois, les capitaux courants (CA) et les capitaux fixes (FA), et les dettes, ce qui inclut les dettes actuelles (CL) et la dette à long terme (L), comme il est énoncé dans l'équation (42) [Shapiro, 2001].

$$\Delta E = \Delta CA + \Delta FA - \Delta CL - \Delta L. \quad (42)$$

ΔCA se rapporte aux liquidités. Dans notre modèle, ce terme a été calculé à partir des comptes débiteurs (clients), les liquidités disponibles et les stocks à la fin de l'horizon du temps (T') et à l'instant zéro (t'_0), tel qu'il est exprimé dans l'équation (43). Dans cette contrainte, les prix des matériaux gardés en stock représentent les prix que ces produits atteindraient sur le marché s'ils étaient vendus à la fin de l'horizon du temps. D'autre part, le (FA) se rapporte aux actifs non liquides tels que les usines ou les équipements.

$$\begin{aligned}
\Delta CA = & \text{Cash}_{T'} + \sum_{T'-t' < t_{del}} \text{ARec}_{t'} - \sum_{t', t'' | T'-t' < t_{del} \wedge t'' > T'-t_{del}} \text{Pled}_{t''} \\
& + \left(\sum_{i,r} \text{INV}_{H1ir'}^{IS} \cdot \text{Price}_{ir'}^{*IS} + \sum_{i,p} \text{INV}_{H1ip'}^{IS} \cdot \text{Price}_{ip'}^{*IS} \right. \\
& + \sum_{j,p} \text{INV}_{H1jp'}^{BP} \cdot \text{Price}_{jp'}^{*BP} + \sum_{j,f} \text{INV}_{H1j,f,T'}^{IS} \cdot \text{Price}_{jf'}^{*BP} \\
& + \sum_{k,f} \text{INV}_{H1kf'}^{WH} \cdot \text{Price}_{kf'}^{*WH} + \sum_{l,f} \text{INV}_{H1lf'}^{MK} \cdot \text{Price}_{lf'}^{*MK} \left. \right) - \text{Cash}_{t'_0} - \text{ARec}_{t'_0} \\
& - \left(\sum_{i,r} \text{INV}_{H1ir'_0}^{IS} \cdot \text{Price}_{ir'_0}^{*IS} + \sum_{i,p} \text{INV}_{H1ip'_0}^{IS} \cdot \text{Price}_{ip'_0}^{*IS} \right. \\
& + \sum_{j,p} \text{INV}_{H1jp'_0}^{BP} \cdot \text{Price}_{jp'_0}^{*BP} + \sum_{j,f} \text{INV}_{H1jf'_0}^{BP} \cdot \text{Price}_{jf'_0}^{*BP} \\
& + \sum_{k,f} \text{INV}_{H1kf'_0}^{WH} \cdot \text{Price}_{kf'_0}^{*WH} + \sum_{l,f} \text{INV}_{H1lf'_0}^{MK} \cdot \text{Price}_{lf'_0}^{*MK} \left. \right). \quad (43)
\end{aligned}$$

ΔCL se rapporte à des dettes à court terme. Ces termes incluent les comptes créditeurs (fournisseurs), qui sont dus à la dette restante ou de la consommation de matières premières, de travail et de transport, comme il est indiqué dans l'équation (44).

$$\begin{aligned}
\Delta CL = & \left(\text{Debt}_{T'} + \sum_{e,t'} \text{Purch}_{et'}^{RM} + \sum_{t'} \text{Purch}_{t'}^{PR} + \sum_{t'} \text{Purch}_{t'}^{TR} \right) \\
& - \left(\sum_{e,t'} \text{Pay}_{et''}^{RM} \cdot \text{Coef}_{t''}^{RM} + \sum_{t',t''} \text{Pay}_{t't''}^{PR} \cdot \text{Coef}_{t''}^{PR} + \sum_{t',t''} \text{Pay}_{t't''}^{TR} \cdot \text{Coef}_{t''}^{TR} + \text{Debt}_{t'_0} \right) \quad (44)
\end{aligned}$$

3. Approche traditionnelle:

De nos jours, les décisions financières et de planification/ordonnancement sont calculées dans des environnements isolés.

Par conséquent, dans les vrais scénarios industriels, les processus opérationnels de la SC sont décidés en premier et les finances sont ajustées après. En raison du manque de liens concrets entre les processus opérationnels et les finances, les décisions d'établissement du programme (ordonnancement) et de planification de la SC sont généralement calculées en optimisant certains indicateurs de performance, comme le makespan, le coût, le profit, ou les revenus provenant des ventes. Un modèle typique de planification de la SC (M1) qui représente la maximisation du profit pourrait être exprimé comme suit:

MODÈLE M1:

maximiser le profit

soumis aux équations:(1)-(29)

Où le profit est calculé comme la différence entre les entrées de trésorerie, qui sont dues aux ventes de produits, moins les sorties, qui sont associés aux achats des matières premières, et la consommation des services de travail et de transport, comme il est énoncé dans l'équation (45)

$$\text{Profit} = \sum_{l,f,t'} \text{Sales}_{H \setminus l f t'} \cdot \text{Price}_{l f t'} - \sum_{e,t'} \text{Purch}_{e t'}^{RM} - \sum_{t'} (\text{Purch}_{t'}^{PR} + \text{Purch}_{t'}^{TR}) - \text{FCost}. \quad (45)$$

Pour déterminer les sorties de trésorerie nécessaires pour calculer le profit, les équations (46) – (48) sont appliquées.

Plus précisément, la contrainte (46) calcule la consommation totale de matières premières à partir de la quantité de matières premières requises dans chacune des usines intégrées dans le réseau. L'équation (47) calcule le coût des tâches de travail à partir des taux de production dans les usines et en prenant également en considération les niveaux de stocks dans les entrepôts. Ici, les coefficients de coût des stocks (CostINV) comprennent les coûts de traitement et de stockage associés à la conservation du stock à chaque nœud de distribution. Ces coefficients peuvent être incrémentés afin d'inclure également les coûts financiers associés à avoir l'argent investi dans les stocks au lieu de l'investir ailleurs.

Enfin, la contrainte (48) calcule le montant d'argent dépensé dans les utilités de transport des flux de matière parmi les entités de la SC.

$$\begin{aligned} \text{Purch}_{e t'}^{RM} = & \sum_{i,r,t'} ES_{H \setminus i r t'}^{IS} \cdot \text{CostES}_{i r t'}^{IS} + \sum_{j,p,t} ES_{H \setminus j,p,t}^{BP} \cdot \text{CostES}_{e j p t'}^{BP} + \\ & \sum_{k,f,t'} ES_{H \setminus k f t'}^{WH} \cdot \text{CostES}_{k f t'}^{WH} + \sum_{l,f,t'} ES_{H \setminus l f t'}^{MK} \cdot \text{CostES}_{l f t'}^{MK} \quad \forall e, t', \quad (46) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Purch}_{t'}^{PR} = & \sum_{i,p,t'} Q_{H \setminus i p t'}^{IS} \cdot \text{CostQ}_{i p}^{IS} + \sum_{j,f,t} Q_{H \setminus j f t'}^{BP} \cdot \text{CostQ}_{j f}^{BP} + \\ & + \sum_{i,r,t'} \text{INV}_{H \setminus i r t'}^{IS} \cdot \text{CostINV}_{i r}^{IS} + \sum_{i,p,t'} \text{INV}_{H \setminus i p t'}^{IS} \cdot \text{CostINV}_{i p}^{IS} \\ & + \sum_{j,p,t'} \text{INV}_{H \setminus j p t'}^{BP} \cdot \text{CostINV}_{j p}^{BP} + \sum_{j,f,t'} \text{INV}_{H \setminus j f t'}^{BP} \cdot \text{CostINV}_{j f}^{BP} \\ & + \sum_{k,f,t'} \text{INV}_{H \setminus k f t'}^{WH} \cdot \text{CostINV}_{k f}^{WH} + \sum_{l,f,t'} \text{INV}_{H \setminus l f t'}^{MK} \cdot \text{CostINV}_{l f}^{MK} \quad \forall t', \quad (47) \end{aligned}$$

$$\text{Purch}_{t'}^{TR} = \sum_{i,j,p} A_{H \setminus i j p t'} \cdot \text{CostA}_{i j p} + \sum_{j,k,f} B_{H \setminus j k f, t'} \cdot \text{CostB}_{j k f} + \sum_{k,l,f} C_{H \setminus k l f t'} \cdot \text{CostC}_{k l f} \quad \forall t', \quad (48)$$

Une fois que les processus opérationnels sont fixes, le budget est ajusté. Un modèle de budgétisation à court terme typique (M2) qui maximise les capitaux propres de l'entreprise et considère les flux financier liés aux opérations de la SC est donné par:

MODÈLE M2:

maximiser ΔE

soumis aux équations (30)-(44)

4. Modèle intégré :

Pour réaliser l'intégration, les dettes de production et l'argent exogène à chaque période sont calculés en fonction des variables du processus opérationnels.

Les dettes de production sont ainsi calculées à l'aide des équations (46) –(48). Dans l'équation (47), seuls les coûts de traitement et de stockage associés aux stocks gardés aux entités de la SC doivent être considérés, comme leur coût financier est évalué par les contraintes budgétaires. La valeur des comptes débiteurs encourus dans les périodes de planification t' est déterminée à partir des ventes de produits, comme il est énoncé par l'équation (49). Ici, la période de maturation (t_{del}) de ces comptes, qui devraient être déterminés à partir des conditions de ventes négociées avec les clients, représente le retard probable ou estimé entre l'incidence d'achat et le paiement correspondant.

$$ARec_{t'} = \sum_{l,f} Sales_{H1|f|t'} \cdot Price_{lf|t'} \quad \forall t'. \quad (49)$$

Ces équations permettent l'intégration des variables d'ordonnancement / planification dans le modèle de budgétisation.

Le modèle global peut donc être exprimé comme suit:

MODÈLE INTÉGRÉ:

maximiser ΔE

soumis aux équations: (1)-(44) (46)-(49).

Le modèle intégré applique un mélange de formulation de programmation linéaire à variables mixtes (Mixed Integer Linear Programming MILP), ce qui peut être résolu par les techniques classiques de "branch-and-bound".

5. Adaptation du modèle à l'entreprise Vitajus

5.1. Présentation de l'entreprise Vitajus

Cette société de Fabrication et de distribution de jus de fruits a été créée en juillet 1999. La forme juridique est de type SARL (Société à Responsabilité Limitée). Le capital social est de 135.700.000,00 DA et est détenu totalement par deux frères dans le cadre d'un actionnariat privé.

Elle emploie 227 personnes dont 60% sont affectées à la production et 40% aux services commerciaux et à la logistique.

Activité

L'activité de l'entreprise porte sur la fabrication et la distribution des jus de fruits à savoir :

- Les jus de fruits 100%;
- Les nectars;
- Les boissons à base de jus.

Ces différents produits sont conditionnés dans des emballages de types:

- Pack d'1,5 litre- Tétra pak aseptique;
- Pack d'1 litre- Tétra pak aseptique;
- Briquette de 20 cl (MID) - Tétra pak aseptique;
- Briquette de 20 cl – Combibloc aseptique;
- Mini-bocal-bouteille en verre transparent de 25 cl.

5.2. Processus de production:

Etape 1 : Le programme de production établi selon les besoins de la Direction Commerciale est transmis à la Direction Technique marquant le lancement de l'opération fabrication, les besoins en quantité des matières premières selon le produit à fabriquer sont déterminés.

Etape 2 : Le responsable process opère au lancement de la production : cette étape consiste en la préparation du sirop, au dépotage du concentré et au mélange des éléments. Un produit semi fini est alors obtenu.

Etape 3 : L'ingénieur Labo/ Assistant process contrôle la qualité du produit semi fini : (contrôle de l'acidité, Brix et Ph) pour s'assurer que le produit répond aux normes requises ; si le produit est conforme le signal est donné pour le conditionnement.

Etape 4 : Une fois le produit semi fini est jugé conforme, l'assistant process/opérateur pilote machine procède à sa pasteurisation, le produit est ensuite refroidit.

Etape 5 : Conditionnement aseptique du jus : Le pilote machine conditionne le produit pasteurisé refroidit dans les packs; l'ingénieur Labo contrôle la fermeture hermétique des packs (contrôle des soudures). L'opérateur assure ensuite le suremballage des packs conformes avec l'application de la capsule & de la paille et de l'encartonnage. Le produit fini est alors conditionné.

Etape 6 : Commercialisation du produit fini : l'expédition vers dépôt : est assurée par le responsable Production et le magasinier.

5.3. Caractéristiques de la chaîne logistique étudiée :

La chaîne logistique étudiée est structurée comme suit (voir figure3):

- Trois (03) produits finis sont considérés dans notre étude (boisson à l'orange, nectar de raisin, 9fruits/9vitamines) ;
- Six (06) produits intermédiaires sont nécessaires pour la production (jus d'orange, nectar de raisin, jus 9fruits/9vitamines et les 3 emballages pour chaque produit);
- Une seule ligne de production assure la production des trois produits ;
- Sept (07) matières premières sont nécessaires ;
- Huit (08) fournisseurs assurent l'approvisionnement des matières premières.
- Cinq (05) entrepôts de stockage;

- Trois marchés finaux: marché direct, indirect et l'export;
- Cinq (05) périodes de temps.

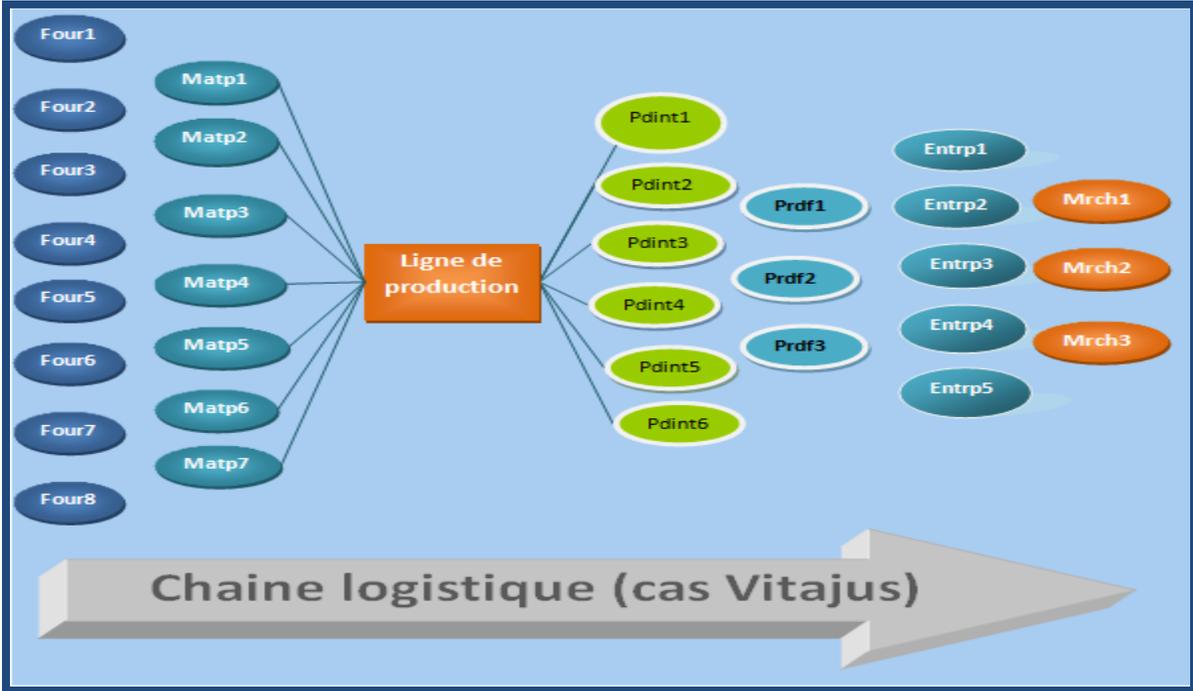


Figure 26 : Chaîne logistique VITAJUS

5.4. Modélisation mathématique

Nous présentons quelques notations utilisées dans le modèle mathématique construit:

Notations :

- R : représente l'ensemble des matières premières, $r \in R$
- E : Ensemble des fournisseurs, $e \in E$
- F : Ensemble des produits finis, $f \in F$
- P : Ensemble des produits intermédiaires (semi finis), $p \in P$
- T : Ensembles des périodes, $t \in T$
- I : Ensembles des unités de production des produits intermédiaires, $i \in I$
- K : Ensemble des entrepôts de stockage du produit fini, $k \in K$
- L : Ensemble des marchés, $l \in L$

Données :

- α_{rp} : le coefficient de conversion de masse de la matière première r et du produit intermédiaire p ;
- β_{fp} : coefficient de conversion de masse du produit intermédiaire p et du produit fini f ;
- Dem_f^t : La demande du produit fini f à la période t ;

- Dif_t : Les différents coûts fixes liés à la production à la période t ;
- $Taux_t$: Le taux d'intérêt de la banque à la période t ;
- RV_{fl}^t : Le bénéfice du produit f sur le marché l à la période t ;
- Cap_f : La capacité de production du produit f ;
- $Cash_t$: Le budget disponible à la période t ;
- $CoutES_{er}^t$: Coût d'achat de la matière première r chez le fournisseur e à la période t ;
- $MaxEmp$: Le montant maximum qu'il est possible d'emprunter.

5.4.1. Variables de décisions :

Les variables de décision de notre problème sont :

- ES_{er}^t : La quantité de la matière première r importée chez le fournisseur e à la période t ;
- Q_p^t : La quantité du produit intermédiaire p à la période t ;
- NVR_r^t : Le stock de la matière première r à la fin de la période t ;
- $Qout_f^t$: La quantité du produit fini f à la période t ;
- NVP_p^t : Le stock du produit intermédiaire p à la fin de la période t ;
- NVF_{fk}^t : Le stock du produit fini f à l'entrepôt k à la fin de la période t ;
- B_{fk}^t : La quantité du produit fini f transportée à l'entrepôt k à la période t ;
- $Sales_{fl}^t$: Les ventes du produit fini f sur le marché l à la période t ;
- Emp_t : Le montant d'argent emprunté de la banque à la période t ;

5.4.2. Contraintes :

Nous allons décrire les contraintes liées au modèle ainsi que leurs formulations mathématiques:

Contraintes liées à la conservation de la quantité de la matière première

Dans chaque période t , la quantité de matière première r transportée des fournisseurs externes e (ES_{er}^t) plus le stock de r à fin de la période $t-1$ (NVR_r^{t-1}) doit être égal à la quantité de r consommée dans la fabrication du produit intermédiaire p (Q_p^t multiplié par un coefficient de conversion de masse α_{rp}), plus le stock de r (NVR_r^t) à la fin de la période t , comme il est exprimé dans la contrainte (1):

$$\sum_{e \in E} ES_{er}^t + NVR_r^{t-1} = \sum_{p \in P} Q_p^t \cdot \alpha_{rp} + NVR_r^t \quad \forall r \in R, t \in T. \quad (1)$$

Contraintes liées à la conservation de la quantité du produit intermédiaire

La quantité totale du produit fini intermédiaire p (Q_p^t) produite pendant l'intervalle de temps t plus le stock initial (NVP_p^{t-1}) du produit intermédiaire p doit être égale à la quantité du produit fini f multiplié par le coefficient de conversion de masse du produit intermédiaire p et du produit fini f (β_{fp}) plus le stock de p à la fin de la période t .

$$Q_p^t + NVP_p^{t-1} = \sum_{f \in F} Qout_f^t \cdot \beta_{pf} + NVP_p^t \quad \forall p \in P, t \in T \quad (2)$$

Contraintes liées aux quantités vendues

La contrainte (3) représente les bilans de matière pour les marchés. Les marchés se comportent comme des entrepôts dans lesquels l'épuisement des matières est dû aux ventes des produits.

Par conséquent, pour chaque période t , la quantité du produit fini f vendue sur le marché l ($Sales_{fl}^t$) plus la quantité du produit fini f disponible aux entrepôts k (NVF_{fk}^t) doit être égal à la quantité de f produite à la période t ($Qout_f^t$) plus le stock du produit f à la fin de la période ($t-1$).

$$\sum_{k \in K} NVF_{fk}^{t-1} + Qout_f^t = \sum_{k \in K} NVF_{fk}^t + \sum_{l \in L} Sales_{fl}^t \quad \forall f \in F, \forall t \in T \quad (3)$$

Contraintes liées à la demande du marché

La demande du produit f sur chaque marché doit être satisfaite comme il est indiqué dans la contrainte suivante :

$$\sum_{f \in F} Sales_{fl}^t \leq \sum_{f \in F} Dem_{fl}^t \quad \forall l \in L, t \in T. \quad (4)$$

Contraintes liées à la capacité de production

La quantité du produit fini f produite à la période t ($Qout_f^t$) ne doit pas dépasser la capacité de production du produit f (Cap_f).

$$Qout_f^t \leq Cap_f \quad \forall f \in F, t \in T. \quad (5)$$

Contraintes financières

Le coût de la matière première ($CoutES_{er}^t$) ainsi que les différents coûts fixes liées à la production (Dif_t) ne doivent pas dépasser le budget disponible ($Cash_t$) plus le montant emprunté à la banque à la période t (Emp_t).

Le montant emprunté à la période t ne doit pas dépasser un seuil maximum noté $MaxEmp$

$$\begin{cases} Cash_t + Emp_t \geq \sum_{e \in E, r \in R} CoutES_{er}^t \cdot ES_{er}^t + Dif_t & \forall t \in T. \\ emp_t \leq M ax Emp & \forall t \in T \end{cases} \quad (6)$$

Contraintes liées à la rentabilité de la production

Cette contrainte assure que la rentabilité de la production sur l'horizon T (ensemble des périodes) est supérieure à la dette engendrée par la production ainsi que les différents coûts fixes sur la période t .

$$\sum_{f \in F, l \in L, t \in T} RV_{fl}^t \cdot Sales_{fl}^t \geq \sum_{t \in T} Emp_t (Taux_t + 1) + Dif_t \quad . \quad (7)$$

5.4.3.La fonction objective :

L'entreprise a fixé comme critère de maximiser le revenu des venets de la production sur l'ensemble des périodes ainsi la fonction objectif s'écrit mathématiquement comme suit :

$$Max(Z) = \sum_{t \in T} \sum_{f \in F} \sum_{l \in L} RV_{fl}^t \cdot Sales_{fl}^t \quad (8)$$

5.4.4.Modèle mathématique :

Le programme mathématique (PE) obtenu est un programme linéaire en nombres entiers.

$$\begin{aligned}
 & \left. \begin{aligned}
 & \text{Max}(Z) = \sum_{t \in T} \sum_{f \in F} \sum_{l \in L} RV_{fl}^t \cdot Sales_{fl}^t \\
 & \sum_{e \in E} ES_{er}^t + NVR_r^{t-1} = \sum_{p \in P} Q_p^t \cdot \alpha_{rp} + NVR_r^t \quad \forall r \in R, t \in T. \\
 & Q_p^t + NVP_p^{t-1} = \sum_{f \in F} Qout_f^t \cdot \beta_{pf} + NVP_p^t \quad \forall p \in P, t \in T \\
 & \sum_{k \in K} NVF_{fk}^{t-1} + Qout_f^t = \sum_{k \in K} NVF_{fk}^t + Sales_{fl}^t \quad \forall f \in F, \forall l \in L, \forall t \in T \\
 & Sales_{fl}^t \geq Dem_{fl}^t \quad \forall l \in L, f \in F, t \in T. \\
 & Qout_f^t \leq Cap_f \quad \forall f \in F, t \in T. \\
 & Cash_t + Emp_t \geq \sum_{e \in E, r \in R} CoutES_{er}^t \cdot ES_{er}^t + Dif_t \quad \forall t \in T. \\
 & \sum_{f \in F, l \in L, t \in T} RV_{fl}^t \cdot Sales_{fl}^t \geq \sum_{t \in T} Emp_t (Taux_t + 1) \quad .
 \end{aligned} \right\} \text{(PE)}
 \end{aligned}$$

5.4.5. Evaluation du modèle:

Le calcul de la taille du modèle peut orienter vers le choix d'une méthode de résolution appropriée au problème. Pour ce faire, il est nécessaire de connaître le nombre de contraintes ainsi que le nombre de variables du modèle.

- **Les contraintes**

Il existe sept types de contraintes illustrés dans le tableau suivant:

Tableau 7 : Les contraintes

Contrainte	Nombre
Type1	$ R \times T = 7 \times 5 = 35$
Type 2	$ P \times T = 30$
Type 3	$ F \times L \times T = 45$
Type 4	$ F \times L \times T = 45$
Type 5	$ F \times T = 15$
Type 6	$ T = 5$
Type 7	1
Nombre total de contraintes	176

Ce qui donne au total le nombre de 176 contraintes.

- **Les variables**

Le tableau suivant donne un bilan du nombre de variables considérées dans ce modèle:

Tableau 8 : Les variables considérées dans le modèle

Variable	Nombre
ES_{er}^t	$ E \times R \times T = 280$
Q_p^t	$ P \times T = 30$
NVR_r^t	$ R \times T = 35$
$Qout_f^t$	$ F \times T = 15$
NVF_{kf}^t	$ K \times F \times T = 75$
B_{kf}^t	$ K \times F \times T = 75$
$Sales_{fl}^t$	$ K \times F \times L = 45$
$Cash_t$	$ T = 5$
Emp_t	$ T = 5$
$Pr ixES_{er}^t$	$ E \times R \times T = 280$
Nombre total de variables	845

Ce qui donne au total le nombre de 845 variables.

5.4.6.Méthode de résolution

Ce modèle est un programme linéaire en nombres entiers, donc il appartient à la classe des problèmes N-P complets. L'une des méthode de résolution est la méthode "Branch and bound" séparation et évaluation. Connaissant la taille du problème, une machine ordinaire peut le

résoudre en un temps raisonnable en utilisant cette méthode exacte qui aboutit à un optimum global.

Méthode « branch & bound » [TANGOUR TOUMLF, 2007]

1. Principe

C'est l'une des méthodes exactes d'optimisation qui peut résoudre le Problème de programmation linéaire en nombres entiers. Elle est basée sur un arbre de recherche. Le principe de la méthode « branch & bound » se traduit par deux concepts : le branchement, ou encore la séparation, et l'évaluation.

1.1. La séparation

La séparation consiste à décomposer un sommet représentant l'espace de solutions en sous-ensembles, cette séparation exige de ne pas perdre ni d'ajouter des solutions. En d'autres termes, cette séparation est basée sur le partage, tout en considérant le critère à optimiser, entre l'ensemble des solutions admissibles contenues dans un même sommet (nœud) de l'arborescence et des solutions irréalisables ou moins intéressantes par rapport aux solutions déjà obtenues.

1.2. L'évaluation

L'évaluation d'un sommet consiste à minorer ou à majorer les solutions associées afin d'éviter les branches inutiles c'est-à-dire ne conduisant pas à une solution. Ainsi, cette exploration intelligente de l'espace de recherche est réalisée grâce à des évaluations des branches et à des comparaisons avec une borne inférieure (un minorant) du critère à optimiser. Dans les problèmes de grande taille, il sera nécessaire d'affiner la valeur du minorant (majorant) pour éviter l'explosion de l'arbre de recherche.

1.3. Algorithme général

Parmi les méthodes de résolution exactes de problèmes d'optimisation combinatoire et en particulier de problèmes d'ordonnancement, la procédure de séparation et d'évaluation progressive est la plus utilisée.

L'algorithme général correspondant est le suivant :

- diviser l'espace de recherche en sous-espaces (branches),
- chercher une borne supérieure (inférieure) d'une fonction objectif relative à chaque sous-espace de recherche,
- éliminer les « mauvais » sous-espaces (suivant le(s) critère(s) à optimiser),
- reproduire les étapes précédentes jusqu'à obtenir l'optimum global.

Un exemple d'algorithme pour un problème de minimisation est donné dans la figure 27.

Étape 1*Initialisation*

Calculer une borne supérieure BS

Étape 2*Séparation*

Sélectionner le sommet (nœud) à séparer et créer ses fils

Étape 3*Évaluation*

Pour tous les sommets S créés faire

Si S représente une solution complète alors

calculer sa valeur pour le critère d'optimisation et mettre à jour BS

Sinon calculer la borne inférieure BI

Fin Si

Fin Pour

Étape 4*Élimination*

Éliminer tout sommet tel que $BI > BS$

Étape 5*Critère d'arrêt*

Si tous les sommets ont été éliminés alors arrêter

Sinon aller à l'étape 2

Figure 27 : Algorithme général de la méthode "Branch and bound"

5.4.7. Résultats expérimentaux

Pour la résolution de notre modèle avec la méthode "Branch and bound", nous avons utilisé le solveur Lingo Version8. Le temps d'exécution de l'algorithme pour atteindre la solution optimale est négligeable (02 secondes).

Nous présentons ici les principaux résultats expérimentaux obtenus pour notre étude de cas (pour plus de détail voie ANNEXE) :

La valeur de la solution optimale Z(Max) qui représente le revenu total sur l'ensemble des périodes considérées est de: **42 331 460 DA**

Le tableau1 ci-dessous représente les ventes du produit fini *f* sur le marché *l* pour chaque période *t* :

Tableau 9 : Ventes des produits finis par marché et par période

Périodes	Marchés	Produits		
		Orange	9F/9V	Raisin
Période 1	Direct	68320	0	0
	Indirect	15664	0	0
	Export	481104	0	0
Période 2	Direct	266448	0	0
	Indirect	0	0	167200
	Export	0	0	12336
Période 3	Direct	6832	0	0
	Indirect	0	652080	0
	Export	0	109760	0
Période 4	Direct	0	156640	0
	Indirect	0	0	16720
	Export	420864	0	0
Période 5	Direct	610896	0	0
	Indirect	123360	0	0
	Export	10976	0	0

La quantité totale des produits finis vendus sur les trois marchés est de **3 119 200 litres**, elle se rapproche de la demande globale du marché qui est de **3 126 400 litres**.

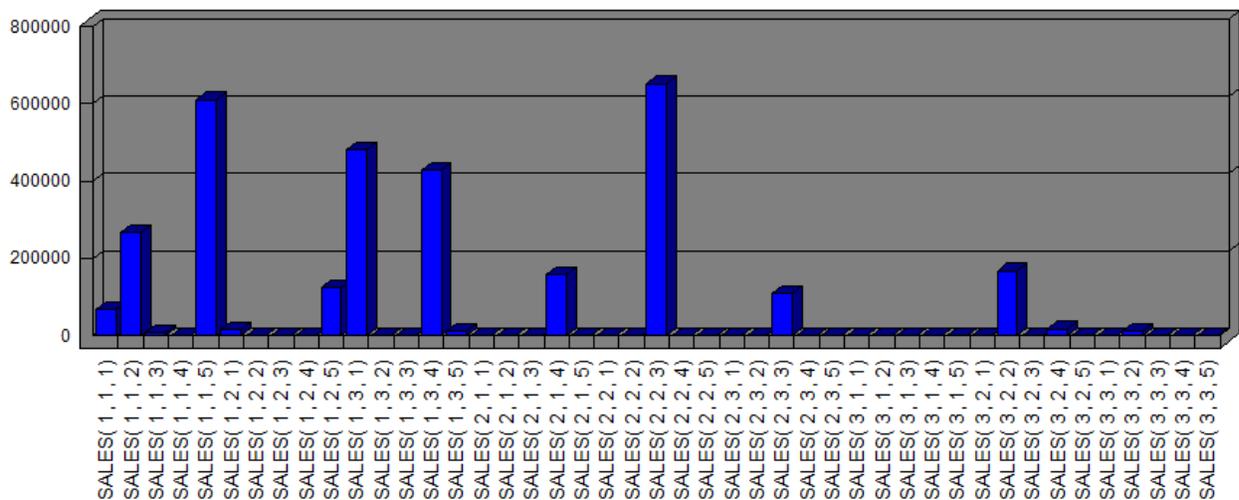


Figure 28 : Histogramme des ventes des produits finis par marché et par période

Conclusion

Ce chapitre a abordé l'importance d'intégrer des modèles de planification et de finances dans le SCM. Pour réaliser l'intégration, une formulation standard de planification de la SC a été étendue à travers l'insertion des contraintes budgétaires qui explorent le domaine financier de la SC. Ensuite, un modèle développé pour une entreprise spécialisée dans le secteur agroalimentaire a été adapté à celui proposé par [Gonzalo et al, 2007] est présenté.

Enfin, les résultats expérimentaux obtenus lors de l'implémentation de la méthode "Branch and bound" sont résumés; la résolution de notre modèle a été réalisée à l'aide du logiciel Lingo Version8, qui est un solveur de programmation interactive, simple, efficace et optimisé pour le traitement de tenseurs (matrice en 3D) avec des variables à trois indices. L'application a été déployée sur une machine Intel CORE2 DUO à 2.00 GHZ et avec 3GO de mémoire vive.

Conclusion Générale

Conclusion générale

Ce travail a abordé l'importance d'intégrer des modèles de planification et de finances dans le Supply Chain Management. Pour réaliser l'intégration, une formulation standard de planification de la Supply Chain a été étendue à travers l'insertion de contraintes budgétaires qui explorent le domaine financier de la Supply Chain. Le profit de l'entreprise a été choisi comme objectif à optimiser dans le modèle intégré de planification/ budgétisation.

Nous avons dans un premiers temps présenté les différentes notions de chaîne logistique et de Supply Chain Management, des structures qui la composent ainsi que les outils et logiciels de modélisation et de simulation qui les soutiennent. Ensuite, nous avons fourni une revue de la littérature dans la modélisation de la chaîne logistique.

L'étude de la stratégie séquentielle (traditionnelle) dans laquelle les opérations sont d'abord calculées et les finances sont adaptées après illustre l'inadéquation du traitement des opérations et des finances dans des environnements isolés en fixant comme objectif des indicateurs tels que le profit ou le coût. Ainsi, il est important de concevoir de plus larges systèmes de modélisation pour le SCM menant à une augmentation des revenus globaux et fournissant des connaissances supplémentaires sur les interactions entre les opérations et les finances.

Le modèle proposé dans ce travail a été élaboré à partir des travaux de [Gonzalo et al , 2007], il a été adapté pour une entreprise exerçant dans l'industrie agroalimentaire (Vitajus), en ôtant des contraintes financière trop complexes qui nécessitent un niveau de détail important (variation des capitaux propres, dette à long terme, coûts de stockage par produit et par entrepôts...etc.).

Nous avons considéré dans cette approche :

- Trois (03) produits finis (boisson à l'orange, nectar de raisin, 9fruits/9vitamines) ;
- Six (06) produits intermédiaires pour la production (jus d'orange, nectar de raisin, jus 9fruits/9vitamines et les 3 emballages pour chaque produit);
- Une seule ligne de production qui assure la production ;
- Sept (07) matières premières;
- Huit (08) fournisseurs qui assurent l'approvisionnement en matières premières.
- Cinq (05) entrepôts de stockage;
- Cinq (05) périodes de temps.

L'approche a été mise en évidence par cette étude de cas, dans laquelle les résultats obtenus par le modèle intégré ont été présentés.

La communauté scientifique doit élargir le champs des approches actuellement étroit pour le SCM et étendre les concepts et les idées fondamentaux pour offrir une perspective plus large de toute l'entreprise à tous les niveaux d'aide à la décision (opérationnel, tactique et stratégique). Les marges bénéficiaires réduites sous lesquelles l'industrie fonctionnera à l'avenir inciteront les

managers à prêter de plus en plus attention au domaine financier. Ainsi, l'approche étudiée dans ce travail deviendra plus pertinente au sein de la communauté industrielle au cours du temps.

A l'issue de ce travail, nous pouvons suggérer un certain nombre de perspectives, à savoir :

- La modélisation des chaînes logistiques fait largement allusion aux biens tangibles et très peu au management spécifique des services, il serait opportun d'adapter des modèles à ce domaine stratégique;
- Intégrer d'autres aspects dans les modèles de chaîne logistique tels que les risques de défaillance technique, les risques fournisseur, prix de l'énergie ou la variation des taux de change, ce qui permettrait de créer des systèmes de modélisation plus larges pour le SCM.

Bibliographie:

[ABDMOULEH, 2004] : ABDMOULEH A. (2004) Composants pour la Modélisation des Processus Métier en Productique, basés sur CIMOSA. Résumé de thèse, Laboratoire de Génie Industriel et Production Mécanique LGIPM / AGIP.

[Altiok et Ranjan, 1995]: Altiok T., Ranjan R. (1995) Multi-stage, pull-type production/inventory systems, IIE Transactions 27190Ð200.

[Arntzen et al., 1995]: Arntzen B.C., Brown G.G., Harrison T.P., Trafton L.L. (1995) Global supply chain management at digital equipment corporation, Interfaces, vol 25, n°1, p.69-93.

[Anupindi et al .1993]: Anupindi R. et al .(1993) "DIVERSIFICATION UNDER SUPPLY UNCERTAINTY", Management Science, vol. 39, p. 944-963.

[Badinelli, 1992]: Badinelli R.D. (1992) A MODEL FOR CONTINUOUS-REVIEW PULL POLICIES IN SERIAL INVENTORY SYSTEMS, Operations Research, vol. 40, p. 142-156.

[Banerjee, 1986]: Banerjee A. (1986) A JOINT ECONOMIC-LOT-SIZE MODEL FOR PURCHASER AND VENDOR, Decision Science, vol. 17, p. 292-311.

[Baumol, 1952] : Baumol, W.J., 1952. The transactions demand for cash: An inventory theoretic approach. Quantitative Journal of Economy 66 (4), 545.

[Berry et al., 1994]: Berry D., Towill D.R., Wadsley N., (1994) Supply chain management in the electronics product industry. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management 24 (10), 20}32.

[Beamon, 1996]: Beamon B.M. (1996) Performance measures in supply chain management, Proceedings of the Conference on Agile and Intelligent Manufacturing Systems, Troy, NY.

[Bhatnagar et al., 1993]: Bhatnagar, Rohit, Chandra Pankaj, Goyal S.K. (1993) Models for multi-plant coordination, European Journal of Operational Research 67 141Ð160.

[Billington et al., 1992] : Billington C. et al. (1992) MANUFACTURING STRATEGY ANALYSIS: MODELS AND PRACTICE, OMEGA, vol. 20, p. 587-595.

[BPC, 2011]: BPC. (2011) « Introduction aux réseaux de neurones », cours de Master univ. Bpclermont -<http://> Braesch C., Haurat A. (1995) « La modélisation systémique en entreprise », Hermès, Paris.

[Cachon et Zipkin, 1997]: Cachon G.P., Zipkin P.H. (1997) Competitive and Cooperative Inventory Policies in a Two-Stage Supply Chain, Fuqua School of Business, Duke University.

[Camm et al., 1997] Camm J.D., Chorman T.E., Dull F.A., Evans J.R., Sweeney D.J., Wegryn G.W. (1997) Blending OR/MS, judgement, and GIS: Restructuring P&G's supply chain, *Interfaces* 27 (1)128-142.

[Chen et al., 1994]: Chen F. et al. (1994) EVALUATING ECHELON STOCK (R,NQ) POLICIES IN SERIAL PRODUCTION/INVENTORY SYSTEMS WITH STOCHASTIC DEMAND, *Management Science*, vol. 40, p. 1262-1275. wwwobs.univ-bpclermont.fr/atmos/enseignement/cours-Master-2A/cours_RN_2006.pdf

[Chen, 1997]: Chen F. (1997) *Decentralized Supply Chains Subject to Information Delays (formerly The Stationary Beer Game)*, Graduate School of Business, Columbia University, New York, NY.

[Christopher, 1992]: Christopher M.L. (1992) *Logistics and Supply Chain Management*, Pitman Publishing, London.

[Christopher, 1994]: Christopher M. (1994) *Logistics and Supply Chain Management*, Richard D. Irwin, Inc., Financial Times, New York, NY.

[Christopher, 2005]: Christopher M. (2005) *Supply chain management, créer des réseaux à forte valeur ajoutée*, Village Mondiale, Pearson Education 3ème édition : 1ère édition : 1992.

[Christy et Grout, 1994]: Christy D.P., Grout J.R. (1994) *Safeguarding supply chain relationships*, *International Journal of Production Economics* 36 233-242.

[Clark et Scarf, 1960]: Clark A.J., Scarf H. (1960) *Optimal policies for a multi-echelon inventory problem*, *Management Science* 6 (4) 475-490.

[Clark et Scarf, 1962]: Clark A.J., Scarf H. (1962) *Approximate solutions to a simple multi-echelon inventory problem*, in: K.J. Arros, S. Karlin, H. Scarf (Eds.), *Studies in Applied Probability and Management Science*, Stanford University Press, Stanford, CA, pp. 88-110.

(Cohen et Lee, 1988): Cohen M.A., Lee H.L. (1988) *Strategic analysis of integrated production-distribution systems: Models and methods*, *Operations Research* 36 (2) 216-228.

[Cohen et Lee, 1989]: Cohen M.A., Lee H.L. (1989) *Resource deployment analysis of global manufacturing and distribution networks*, *Journal of Manufacturing and Operations Management* 2 81-104.

[Cohen et Moon, 1990]: Cohen M.A., Moon S. (1990) *Impact of production scale economies, manufacturing complexity, and transportation costs on supply chain facility networks*, *Journal of Manufacturing and Operations Management* 3 269-292.

[**COMM,2011**] :COMM.(2011) :

<http://www.commentcamarche.net/contents/merise/concintro.php3>

[**COMP, 2011**]: COMP. (2011): Complexio. Outil d'aide à la modélisation et modèles de simulation. http://www.complexio.eu/pages/modelessimulation_complexio.html

[**Cooper, 1997**]: Cooper M.C., Lambert D.M., Pagh J.D. (1997) Supply Chain Management : More Than a New Name for Logistics. *The International Journal of Logistics Management* 8(1), pp 1-13.

[**Courty, 2003**] : Courty. (2003) Les enjeux industriels et les nouvelles problématiques scientifiques de la logistique à la logistique globale. Ecole d'été d'automatique – Gestion de la Chaîne Logistique. Session 24, Septembre 2003, Grenoble, France.

[**Croom, 2000**]: Croom S., Romano P., Giannakis M. (2000) *Supply chain management: an analytical framework for critical literature review*. *European Journal of Purchasing and Supply Management* 6, pp 67-83.

[**CSCMP, 2005**]: CSCMP. (2005) [cscmp.org](http://www.cscmp.org).

[**Davis, 1993**]: Davis T. (1993) EFFECTIVE SUPPLY CHAIN MANAGEMENT, *Sloan Management Review*, vol. 34, p. 35-46

[**Diks et al., 1996**]: Diks E.B., de Kok A.G., Lagodimos A.G. (1996) Multi-echelon systems: A service measure perspective, *European Journal of Operational Research* 95 241-263.

[**Dominguez et Lashkari, 2004**]: Dominguez H., Lashkari R. S. (2004) *Model for integrating the supply chain of an appliance company: a value of information approach*. *International Journal of Production Research*, 01 June, Vol. 42, No 11, pp 2113-2140.

[**Dupuy et al., 2004**]: Dupuy C., Botta-Genoulaz V., Guinet A. (2004) Batch dispersion model to optimize traceability in food industry. *Journal of Food Engineering*, Special Issue on "Operational Research and Food Logistics", Vol. 70, Issue 3, pp 333-339.

[**EIL, 2011**]: EIL. (2011): <http://www.eil.utoronto.ca/tove/comsen/intro11.html>

[**ENSM, 2009**] : Vincent Augusto, Cours « Réseau de Pétri », ENSM. (2009)

[**Eppen, 1979**]: Eppen G.D., (1979) EFFECT OF CENTRALISATION ON EXPECTED COSTS IN A MULTI-LOCATION NEWSBOY PROBLEM, *Management Science*, vol. 25, p. 498-501.

[Federgruen et al., 1984]: Federgruen A. et al. (1984) COMPUTATIONAL ISSUES IN AN INFINITE-HORIZON, MULTI-ECHELON INVENTORY MODEL, *Operations Research*, vol. 32, p. 818-837.

[Federgruen, 1993]: Federgruen A. (1993) Centralized planning models for multiechelon inventory systems under uncertainty, in: S. Graves, A. Rinnooy Kan, P. Zipkin (Eds.), *Logistics of Production and Inventory*, North-Holland, Amsterdam, pp. 133-173.

[Fontan et al., 2005]: Fontan G., Mercé C., Hennes J.C., Lasserre J.B. (2005) Hierarchical scheduling for decision support. *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol. 16, No. 2, pp 235-242.

[Forrester, 1961]: Forrester J. (1961) *Industrial Dynamics*, MIT Press, Cambridge, MA, and Wiley, Inc., New York.

[Ganeshan et al., 1998]: Ganeshan R., Jack E., Magazine M.J., Stephens P. (1998) *A Taxonomic Review of Supply Chain Management Research*, in *Quantitative Models for Supply Chain Management*, Kluwer Academic Publishers, Boston, pp 841-880.

[Génin, 2003]: Génin P. (2003) *Planification tactique robuste avec usage d'un A.P.S – Proposition d'un mode de gestion par plan de référence*. Thèse de doctorat de l'Ecole des Mines de Paris.

[Geunes et Chang, 2001]: Geunes J., et Chang B, (2001) *Operations research models for supply chain management and design*, in *Encyclopaedia of Optimization*, C.A. Floudas and P.M. Pardalos Eds, Kluwer Academic Publishers, 4 : 133-145.

[Graves, 1996]: Graves C.G., (1996) A MULTI-ECHELON INVENTORY MODEL WITH FIXED REPLENISHMENT INTERVALS, *Management Science*, vol. 42, p. 1-18.

[GUYET, 2007]: GUYET T. (2007) « Systèmes Multi-Agents (SMA) ; Introduction et Applications biomédicales », cours IMTC.

[Hammel et Kopczak, 1993]: Hammel T.R., Kopczak L.R. (1993) Tightening the supply chain, *Production and Inventory Management Journal* 34 (2) 63-70.

[Hatchuel et al., 1997]: Hatchuel A., Saidi-Kabeche D., Sardas J. C. (1997) Towards a new planning and scheduling approach for multistage production systems. *International Journal of Production Research*, Vol. 35, No. 3, pp 867-886.

[Hétreux, 1996] : Hétreux G. (1996) Structures de décision multi-niveaux pour la planification de la production: robustesse et cohérence des décisions. Thèse de doctorat de l'Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse.

[HOB,2011]:HOB(2011):

<http://hobbit.ict.griffith.edu.au/~bernus/taskforce/geram/versions/geram1-6-3/v1.6.3.html>

[Hollocks et al., 1997]: Hollocks B-W, Goranson H-T, Shorter D-N, Vernadat F. (1997) *Assessing Integration for Competitive Advantage, Workshop 2, Working Group 1*, Enterprise and Integration : Building International Consensus, Berlin, p. 96-111.

[Houlihan, 1987]: Houlihan J.B. (1987) International supply chain management, *International Journal of Physical Distribution and Materials Management* 17 (2) 51-66.

[Houtum et al., 1996]: Houtum G.J van., Inderfurth K., Zijm W.H.M. (1996) Materials coordination in stochastic multi-echelon systems, *European Journal of Operational Research* 95 1-23.

[Huang et al., 2003]: Huang George Q., LAU Jason S. K., Mak K. L. (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.

[Ishii et al., 1988]: Ishii K., Takahashi K., Muramatsu R. (1988) Integrated production, inventory and distribution systems, *International Journal of Production Research* 26 (3) 473-482.

[Johnson et al., 1995]: Johnson J.B., Randolph S., Brief: (1995) Making Alliances Work - Using a computer-based management system to integrate the supply chain, *Journal of Petroleum Technology* 47 (6) 51-513.

[Johnson et Davis, 1995]: Johnson M.E., Davis T. (1995) Gaining and edge with supply chain management, *APICS*, 26-31.

[Jones et Riley, 1985]: Jones T.C., Riley D.W. (1985) Using Inventory for Competitive Advantage through Supply Chain Management. *International Journal of Physical Distribution and Materials Management*, Vol. 15, No. 5, 16-26.

[Kehoe et Boughton, 2001]: Kehoe D.F., Boughton N.J. (2001) New paradigms in planning and control across manufacturing supply chains – the utilisation of Internet technologies. *International Journal of Operations and Production Management*, Vol. 21, No 5/6, pp 582-593.

[Kouvelis et Gutierrez, 1997]: Kouvelis P., Gutierrez G. (1997) The newsvendor problem in a global market: Optimal centralized control policies for a two-market stochastic inventory system, *Management Science* 43 (5) 571-585.

[LADJADJ, 2002]: LADJADJ R. (2002) « Les réseaux de neurones ». www-igm.univ-mlv.fr/~dr/XPOSE2002/.../presentation.ppt.

[La Londe et Masters, 1994]: La Londe B.J., Masters J.M. (1994) Emerging Logistics Strategies: Blue-print for the next century. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, Vol 24, No 7, pp 35-47.

[Lambert et Cooper, 2000]: Lambert D.M., Cooper M.C. (2000) Issues in Supply Chain Management. *Industrial Marketing Management*, 29, pp 65-83.

[Lal et al., 1984]: Lal R. et al., (1984) AN APPROACH FOR DEVELOPING AN OPTIMAL DISCOUNT PRICING POLICY, *Management Science*, vol. 30, p. 1524-1539.

[Lau et al., 1994]: Lau H.S. et al., (1994) "COORDINATING TWO SUPPLIERS WITH OFFSETTING LEAD TIME AND PRICE PERFORMANCE", *Journal of Operation Management*, vol. 11, p. 327-337.

[Lecompte, 2001]: Lecompte-Alix T. (2001) Un cadre formel de décision pour la planification multi-niveau des systèmes de production réticulaires. Thèse de doctorat de l'Université Bordeaux 1.

[Lee et al., 1986]: Lee H.L. et al. (1986) "A GENERALIZED QUANTITY DISCOUNT PRICING MODEL TO INCREASE SUPPLIER'S PROFITS", *Management Science*, vol. 32, p. 1177-1185.

[Lee et Billington, 1993]: Lee H.L., Billington C. (1993) Material management in decentralized supply chain. *Operation Research*, Vol 41, No 5.

[Lee et Whang, 1993]: Lee H., Whang S. (1993) Decentralized Multi-Echelon Inventory Control Systems, Stanford University, Graduate School of Business, Stanford, CA.

[Lee et al., 1993]: Lee H.L., Billington C., Carter B. (1993) HEWLETT-PACKARD GAINS CONTROL OF INVENTORY AND SERVICE THROUGH DESIGN FOR LOCALIZATION, *Interfaces*, vol 23, n°4, p.1-11.

[Lee et Billington, 1995]: Lee H.L. et Billington C. (1995) THE EVOLUTION OF SUPPLY-CHAIN MANAGEMENT MODELS AND PRACTICE AT HEWLETT-PACKARD, *Interfaces*, vol 25, n°5, p. 42- 63.

[Lee et Sasser, 1995]: Lee H.L., Sasser M. (1995) PRODUCT UNIVERSALITY AND DESIGN FOR SUPPLY CHAIN MANAGEMENT, *International Journal of Production Planning and Control*, vol 6, n°3, p. 270-277.

[Lee et Feitzinger, 1995]: Lee H.L., Feitzinger E. (1995) Product configuration and postponement for supply chain efficiency, Fourth Industrial Engineering Research Conference Proceedings, Institute of Industrial Engineers, pp. 43-48.

[Lee et al., 1997]: Lee H.L., Padmanabhan V., Whang S. (1997) Information distortion in a supply chain: The bullwhip effect, *Management Science* 43 (4) 546-558.

[Lerner et Stone, 1968] : Lerner, E., Stone, J., 1968. Simulating a cash budget. *California Management Review* 11 (2), 78.

[Lummus et Vokurka, 1999]: Lummus R.R., Vokurka R.J. (1999) *Defining supply chain management: a historical perspective and practical guidelines*. *Industrial Management & Data Systems*, pp 11-17.

[Mc-Gavin et al., 1993]: Mc-Gavin E.J. et al. (1993) TWO-INTERNAL INVENTORY-ALLOCATION POLICIES IN A ONE-WAREHOUSE N-IDENTICAL-RETAILER DISTRIBUTION SYSTEM, *Management Science*, vol. 39, p. 1092-1107.

[Mentzer et al., 2001]: Mentzer J.T., Dewitt W., Keebler J.S., Min S., Nix N.W., Smith C.D., Zacharia Z.G. (2001) DEFINING THE SUPPLY CHAIN MANAGEMENT, *Journal of Business logistics*, vol 22, n°2.

[Miller et Orr, 1966] : Miller, M.H., Orr, R.A., 1966. Model of the demand for money by firms. *Quantitative Journal of Economy* 80 (3), 413.

[Min et Zhou, 2002]: Min H., Zhou G. (2002) Supply chain modeling: past, present and future. *Computers & Industrial Engineering* 43, pp 231-249.

[Neunreuther, 1998] : Neunreuther E., (1998) *Contribution à la modélisation des systèmes intégrés de production à intelligence distribuée*. Thèse de doctorat, spécialité production automatisée, Nancy.

[Newhart et al., 1993]: Newhart D.D., Stott K.L., Vasko F.J. (1993) Consolidating product sizes to minimize inventory levels for a multi-stage production and distribution systems, *Journal of the Operational Research Society* 44 (7) 637-644.

[Nicoll, 1994]: Nicoll A.D. (1994) Integrating logistics strategies, Annual International Conference Proceedings, American Production and Inventory Control Society, pp. 590-594.

[Orgler, 1969] : Orgler, Y.E., 1969. An unequal-period model for cash management decisions. Management Science 20 (10), 1350.

[Paul et Laville, 2007] : Paul J., Laville Jean-J. (2007) Le modèle SCOR, vecteur d'excellence de la Supply Chain. - N°13 -SUPPLY CHAIN MAGAZINE – MARS.

[Pyke et Cohen, 1993]: Pyke D.F., Cohen M.A. (1993) Performance characteristics of stochastic integrated production-distribution systems, European Journal of Operational Research 68 (1) 23-48.

[Pyke et Cohen, 1994]: Pyke D.F., Cohen M.A. (1994) Multi-product integrated production-distribution systems, European Journal of Operational Research 74 (1) 18-49.

[Raaymakers et al, 1997] : Raaymakers, W., Bertrand, J., Franco, J., 1997. Aggregation principles in hierarchical production planning in a batch chemical plant. In: Raulier, D. (Ed.), Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Production Management, pp. 407-416.

[Robichek et al, 1965] : Robichek, A.A., Teichrow, D., Jones, J.M., 1965. Optimal short term financing decision. Management Science 12, 1.

[ROQUE et al., 2004] : ROQUE M., VALLERSPIR B., DOUMEINGTS G. (2004) « modélisation d'entreprise : traduction et méta-modélisation ».

[Rota-Franz, 1998] : Rota-Franz K. (1998) *Coordination temporelle de centres gérant de façon autonome des ressources. Application aux chaînes logistiques intégrées en aéronautique*, Thèse de doctorat de l'ENSAE.

[Rota, 1998] : Rota K. (1998) COORDINATION TEMPORELLE DE CENTRES GERANT DE FAÇON AUTONOME DES RESSOURCES. APPLICATION AUX CHAINES LOGISTIQUES INTEGREES EN AERONAUTIQUE, *Thèse ENSAE*.

[Rota-Franz et al., 2001] : Rota-Franz K., Thierry C., Bel G. (2001) *Gestion des Flux dans les chaînes logistiques*. In *Performances industrielles et gestion des flux* (P. Burlat, J.P. Campagne) Hermès Traité IC2, pp 153-186.

[Salomon, 1991]: Salomon M., (1991) DETERMINISTIC LOT-SIZING MODELS FOR PRODUCTION PLANNING, Springer-Verlag.

- [**SCC, 2011**]: SCC. (2011) Supply Chain Council: <http://www.supply-chain.org/>
- [**Sethi, 1984**]: Sethi S.P. (1984) A quantity discount lot-size model with disposals, *International Journal of Production Research*, vol. 22, p. 31-39.
- [**Simchi-Levi et al., 2000**]: Simchi-Levi D., Kaminsky P., Simchi-Levi E. (2000) *Designing and Managing the Supply Chain: Concepts, Strategies, and Case Studies*, McGraw-Hill, New York.
- [**Srinivasan, 1986**] : Srinivasan, V., 1986. Deterministic cash flow management. *Omega* 14 (2), 145–166.
- [**Statler et Kilger, 2000**]: Statler H., Kilger C. (2000) *Supply Chain Management and Advanced Planning : concepts, models, software and case studies*, Editions Springer Verlag.
- [**Svoronos A., Zipkin, 1991**]: Svoronos A., Zipkin P. (1991) Evaluation of one-for-one replenishment policies for multiechelon inventory systems, *Management Science* 37 (1) 68Ð83.
- [**Tan et al., 1998**]: Tan K.C., Kannan V.R., Hand"eld R.B. (1998) Supply chain management: supplier performance and "rm performance. *International Journal of Purchasing and Material Management* 34 (3), 2}9.
- [**Tan, 2001**]: Tan K.C. (2001) A framework of supply chain management literature. *European Journal of Purchasing and Supply Management* 7, pp 39-48.
- [**TANGOUR TOUMI.F, 2007**]: TANGOUR TOUMI. F, (2007) thèse "*Ordonnancement Dynamique dans les Industries Agroalimentaires*". Université des Sciences et Technologies de Lille
- [**Tayur, 1999**] : Tayur S., Ganeshan R., Magazine M. (1999) *Quantitative models for supply chain management*. Kluwer Academic Publishers.
- [**Thomas et Griffin, 1996**]: Thomas D.J., Griffin P.M. (1996) *Coordinated supply chain management*. *European Journal of Operational Research*. 94, pp 1-15.
- [**Towill, 1991**]: Towill D.R. (1991) Supply chain dynamics, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing* 4 (4) 197Ð208.
- [**Towill et al., 1992**]: Towill D.R., Naim M.M., Wikner J. (1992) Industrial dynamics simulation models in the design of supply chains, *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management* 22 (5) 3Ð13.
- [**Towill et Del Vecchio, 1994**]: Towill D.R., Del Vecchio A. (1994) The application of Filter Theory to the study of supply chain dynamics, *Production Planning and Control* 5 (1) 82Ð96.

[**Towill, 1996**]: Towill D.R. (1996) Time compression and supply chain management *D A* guided tour, Supply Chain Management 1 (1) 15-27.

[**Tzafestas et Kapsiotis, 1994**]: Tzafestas S., Kapsiotis G. (1994) Coordinated control of manufacturing/ supply chains using multi-level techniques, Computer Integrated Manufacturing Systems 7 (3) 206-212.

[**VALLA et al., 2004**]: VALLA A., BOTTA GENOULAZ V., GUINET A. (2004) « Diagnostique d'une chaîne logistique interne orientée processus – Application à un cas industriel ». MOSIM'04 -

[**Van Eijs, 1994**]: Van Eijs M.J.G. (1994) MULTI-ITEM INVENTORY SYSTEMS WITH JOINT ORDERING AND TRANSPORTATION DECISIONS, International Journal of Production Economics, vol. 35, p. 285-292.

[**Valois, 2003**] : Valois F. (2003) Modélisation et Évaluation de Performances de Réseaux ; Chapitre 2 : Les files d'attente. INSA Lyon.

[**VILLEMINOT ; 2004**] : VILLEMINOT A. (2004) Thèse « Modélisation et simulation de la logistique d'approvisionnement dans l'industrie automobile (application pour un grand constructeur)". Université Point Carré.

[**Voudouris, 1996**]: Voudouris V.T. (1996) Mathematical programming techniques to debottleneck the supply chain of P&ne chemical industries, Computers and Chemical Engineering 20 S1269-S1274.

[**Weng, 1995**]: Weng Z.K. (1995) CHANNEL COORDINATION AND QUANTITY DISCOUNTS, Management Science, vol. 41, p. 1509-1522.

[**Wikner et al., 1991**]: Wikner J., Towill D.R., Naim M. (1991) Smoothing supply chain dynamics, International Journal of Production Economics 22 (3) 231-248.

[**Williams, 1981**]: Williams J.F. (1981) Heuristic techniques for simultaneous scheduling of production and distribution in multi-echelon structures: Theory and empirical comparisons, Management Science 27 (3) 336-352.

[**Williams, 1983**]: Williams J.F. (1983) A hybrid algorithm for simultaneous scheduling of production and distribution in multi-echelon structures, Management Science 29 (1) 77-92.

[**WIKIM,2011**]: http://fr.wikipedia.org/wiki/Merise_%28informatique%29

[**WIKIS, 2011**] : http://fr.wikipedia.org/wiki/Simulation_informatique

[WIKIT, 2011]: http://en.wikipedia.org/wiki/TOVE_Project

[XIE, 2011]: Xiaolan XIE. (2011) Supply Chain Logistics and Operation Management. Cours du Master recherche Génie Industriel.

Annexe 1: Questionnaire Supply Chain Management

But:

Faire un diagnostic relatif au mode de management en général et particulièrement à la gestion de la chaîne logistique au sein de l'entreprise.

Objectifs:

- Identifier les principaux défis et insuffisances pour la gestion de la chaîne logistique et les problèmes associés.
- Connaitre l'impact des politiques introduites à la gestion de la chaîne logistique, de la planification logistique et de sa mise en œuvre.

Volet 1: Pratiques logistiques et leur performance

Volet 2: TIC utilisés pour soutenir le SCM, la logistique et la planification de la production

Informations Entreprise

1. Nom de l'entreprise **VITAJUS**

2. Adresse **Site 2 OULED YAÏCH W.BLIDA**

3. Pays **Algérie**

4. Tel **+213. 25 43 58** 5. Fax **+213. 25 43 58** 6. Siteweb **www.vitajus.com**

7. Type secteur: Production Service Les deux

8. Industrie: Alimentaire Hydrocarbure Autres (définir) _____

Nbre d'employés: **227** Chiffre d'affaires 2011 : [_____] DZD

Volet 1

9. a. Votre entreprise dispose-t-elle d'une structure (département ou service) propre à la logistique? OUI NON

b. Si oui, quel est le profil du responsable de cette structure?

[Service Approvisionnement]

10. Faites-vous participer vos collaborateurs dans la prise de décision ?

OUI NON

11. a. Maîtrisez-vous la notion de Supply Chain (SC) ?

OUI NON

b. Quels sont les éléments qui constituent votre Supply Chain ?

Chaîne classique (fournisseurs, production, clients ..)

12. a. Maîtrisez-vous la notion de Supply Chain Management (SCM) ?

OUI NON

b. Accordez-vous autant d'importance à tous les aspects du SCM ?

Approvisionnement Transport
 Production Système d'information
 Distribution Autre, Préciser :
 Aucun

c. Si aucun, Pourquoi ?

13. Votre entreprise dispose-t-elle d'un plan logistique clairement défini?

OUI NON

14. Comment gérez-vous votre chaîne logistique? *Cochez tout ce qui s'applique*

- ₁ Etroite collaboration avec les fournisseurs
₂ Etroite collaboration avec les clients
₃ Approvisionnement en « juste à temps » (JIT)
₄ e-procurement (approvisionnement électronique)
₅ Echange de données informatisé (EDI)
₆ Outsourcing (externalisation)

- ₇ Sous-traitance
₉ Plan stratégique
₁₀ Supply Chain Benchmarking
₁₁ Intégration verticale
₁₂ Nombre limité de fournisseurs
₁₃ De nombreux fournisseurs
₁₄ Stock de sécurité
₁₅ Consultants externes
₁₆ Autres, Spécifier _____

15. Comment jugez-vous le management de la chaîne logistique de votre entreprise en général ?

- Non réussi du tout Non réussi Assez réussi Réussi Très réussi
-
- ₁ ₂ ₃ ₄ ₅

16. A l'effet de renforcer votre maîtrise de la chaîne logistique, évaluez chacun des éléments suivants :

	A améliorer	commencer à appliquer	Déjà satisfait	Non approprié
Etroite collaboration avec les fournisseurs		X		
Etroite collaboration avec les clients	X			
Approvisionnement en « juste à temps » (JIT)				X
e-procurement		X		
EDI			X	
Outsourcing		X		
Sous-traitance				X
Plan stratégique		X		
Supply Chain Benchmarking	X			
Intégration verticale	X			

Nombre limité de fournisseurs			X	
De nombreux fournisseurs				X
Stock de sécurité			X	
Consultants externes			X	
Autres, Spécifier				

Volet 2

17. Quels types de systèmes d'information utilisez-vous actuellement pour soutenir votre Supply Chain Management? *(Sinon, Aller à Q20)*

	fait sur mesure	formule Standard	Non utilisé
Material Requirements Planning (MRP)		X	
Manufacturing Resources Planning (MRPII)			X
Enterprise Resource Planning (ERP)			X
Warehouse Management System (WMS)	X		
Supply Chain Management (SCM)			X
Customer Relationships Management (CRM)			X
Supplier Relationships Management (SRM)			X
Advanced Planning System (APS)			X
Just à Temps (JIT)			X
Théorie des contraintes (TOC)			X
E-commerce			X
E-business	X		
Radio-identification (RFID)			X
Echange de données informatisé (EDI)		X	
codes à barres	X		
Autres, Spécifier			

18. Quel est impact de l'utilisation des systèmes d'informations précédents ?

	Pas du tout (1)	Peu (2)	Moyen (3)	Considérablement (4)	Beaucoup (5)	Ne sait pas
Meilleure qualité de l'information			X			
Meilleure quantité d'information				X		
Flexibilité				X		
Réduction des délais de production				X		

Réduction des coûts			X			
prévision		X				
Planification des ressources				X		
Une meilleure efficacité opérationnelle			X			
Réduction des niveaux des stocks					X	
évaluation plus précise des coûts			X			
Renforcement de la coordination entre les services					X	
Renforcement de la coordination avec les fournisseurs				X		
Renforcement de la coordination avec les clients					X	
Augmentation des ventes					X	

19. A quel degré votre entreprise est-elle confrontée aux problèmes ci-dessous lors de l'utilisation de ces systèmes ?

	Pas de problème (1)	Peu de problèmes (2)	Quelques Problèmes (3)	Importants problèmes (4)	Sérieux Problèmes (5)	Ne sait pas
Résistance au changement de la part des employés			X			
Pénurie des ressources (par exemple pas d'entretien et mise à jour)	X					
Pénurie de compétences (par exemple L'analphabétisme informatique dans l'entreprise)		X				
Soutien aux fournisseurs insuffisant	X					
coûts cachés				X		
Intégration avec le système existant		X				
Intégration avec le système du fournisseur	X					
Intégration avec le système du client	X					
Autres, Spécifier						

20. Quels types de systèmes prévoyez-vous de mettre en œuvre dans un avenir proche (dans les 2 prochaines années) ?

	fait sur mesure	formule Standard	Ne va pas être mis en œuvre
Material Requirements Planning (MRP)		X	
Manufacturing Resources Planning (MRPII)	X		
Enterprise Resource Planning (ERP)			X
Warehouse Management System (WMS)	X		
Supply Chain Management (SCM)	X		
Customer Relationships Management (CRM)		X	
Supplier Relationships Management (SRM)		X	
Advanced Planning System (APS)			X
Just à Temps (JIT)			X
Théorie des contraintes (TOC)			X
E-commerce			X
E-business	X		
Radio-identification (RFID)			X
Echange de données informatisé (EDI)		X	
Codes à barres	X		
Autres, Spécifier			

Merci pour votre collaboration

Annexe2 : Données utilisées

Ce tableaux représente le coefficient de conversion de masse de la matière première r et du produit intermédiaire p :

Tableau 10 : coefficient de conversion de masse de la matière première r et du produit intermédiaire p

α_{rp}	Jus orange	emballage orange	jus 9F/9V	emballage 9F/9V	nectar raisin	emballage orange
concentré orange	0.15	0	0	0	0	0
concentré 9F9V	0	0	0.2	0	0	0
concentré raisin	0	0	0	0	0.5	0
Pulpe orange	0.05	0	0	0	0	0
emballage	0	1	0	1	0	1
sirop	0.79	0	0.79	0	0.49	0
acide citrique	0.01	0	0.01	0	0.01	0

Ce tableaux représente le coefficient de conversion de masse du produit intermédiaire p et du produit fini f :

Tableau 11 : coefficient de conversion de masse du produit intermédiaire p et du produit fini f

β_{fp}	Jus orange	emballage orange	jus 9F/9V	emballage 9F/9V	nectar raisin	emballage orange
Jus orange	0.92	0.08	0	0	0	0
jus 9F/9V	0	0	0.92	0.08	0	0
nectar raisin	0	0	0	0	0.92	0.08

Ce tableaux représente la demande du produit fini f à la période t :

Tableau 12 : la demande du produit fini f à la période t

Dem_f^t	Direct	Indirect	Export	
Jus orange	14 240,00	55536	1424	période1
jus 9F/9V	14 240,00	55536	1424	
nectar raisin	11 680,00	45552	1168	
Jus orange	65 440,00	255216	6544	période2
jus 9F/9V	50 080,00	195312	5008	
nectar raisin	19 360,00	75504	1936	
Jus orange	126 880,00	494832	12688	période3
jus 9F/9V	96 160,00	375024	9616	
nectar raisin	23 200,00	90480	2320	
Jus orange	44 960,00	175344	4496	période4
jus 9F/9V	34 720,00	135408	3472	
nectar raisin	15 520,00	60528	1552	
Jus orange	59 360,00	231504	5936	période5
jus 9F/9V	34 720,00	135408	3472	
nectar raisin	14 720,00	57408	1472	

Ce tableaux représente les différents coût liés à la production à la période t

Tableau 13 : coûts liés à la production à la période t

	Période1	Période2	Période3	Période4	Période5
Dif_t	15 000 000,00	14 500 000,00	15 500 000,00	15 000 000,00	15 300 000,00

Ce tableaux représente le taux d'intérêt de la banque à la période t :

Tableau 14 : taux d'intérêt de la banque à la période t

	Période 1	Période 2	Période 3	Période 4	Période 5
Taux _{t}	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06

Ce tableaux représente le bénéfice du produit f sur le marché l à la période t :

Tableau 15 : le bénéfice du produit f sur le marché l à la période t

RV_{fl}^t	direct	indirect	export	
Jus orange	15	13	20	Période1
jus 9F/9V	15	13	20	
nectar raisin	8	6	15	
Jus orange	15	13	20	Période2
jus 9F/9V	15	13	20	
nectar raisin	8	6	15	
Jus orange	15	13	20	Période3
jus 9F/9V	15	13	20	
nectar raisin	8	6	15	
Jus orange	15	13	20	Période4
jus 9F/9V	15	13	20	
nectar raisin	8	6	15	
Jus orange	15	13	20	Période5
jus 9F/9V	15	13	20	
nectar raisin	8	6	15	

Ce tableaux représente la capacité de production du produit f :

Tableau 16 : la capacité de production du produit f

	Jus orange	jus 9F/9V	nectar raisin
Cap _{f}	5040000	5040000	5040000

Ce tableaux représente le budget disponible à la période t :

Tableau 17 : budget disponible à la période t

	Période1	Période2	Période3	Période4	Période5
$Cash_t$	20000000	18000000	19500000	21000000	22500000

Ce tableaux représente le coût d'achat de la matière première r chez le fournisseur e à la période t :

Tableau 18 : le coût d'achat de la matière première r chez le fournisseur e à la période t

$CoutES_{er}^t$	concentré orange	concentré 9F9V	concentré raisin	Pulpe orange	emballage	sirop	acide citrique	
Tetrapak	0	0	0	0	14	0	0	Période 1
Cevital	0	0	0	0	0	69	0	
Symrise	0	251	0	0	0	0	0	
INCAL	220	0	0	0	0	0	0	
Dreyfus	200	0	0	0	0	0	0	
Space	0	0	237	0	0	0	0	
Ammour	0	0	0	58	0	0	0	
Chaouchi	0	0	0	0	0	0	110	
Tetrapak	0	0	0	0	14	0	0	Période 2
Cevital	0	0	0	0	0	69	0	
Symrise	0	251	0	0	0	0	0	
INCAL	220	0	0	0	0	0	0	
Dreyfus	200	0	0	0	0	0	0	
Space	0	0	237	0	0	0	0	
Ammour	0	0	0	58	0	0	0	
Chaouchi	0	0	0	0	0	0	110	
Tetrapak	0	0	0	0	14	0	0	Période 3
Cevital	0	0	0	0	0	69	0	
Symrise	0	251	0	0	0	0	0	
INCAL	220	0	0	0	0	0	0	
Dreyfus	200	0	0	0	0	0	0	
Space	0	0	237	0	0	0	0	
Ammour	0	0	0	58	0	0	0	
Chaouchi	0	0	0	0	0	0	110	
Tetrapak	0	0	0	0	14	0	0	Période 4
Cevital	0	0	0	0	0	69	0	
Symrise	0	251	0	0	0	0	0	
INCAL	220	0	0	0	0	0	0	
Dreyfus	200	0	0	0	0	0	0	

Space	0	0	237	0	0	0	0	Période 5
Ammour	0	0	0	58	0	0	0	
Chaouchi	0	0	0	0	0	0	110	
Tetrapak	0	0	0	0	14	0	0	
Cevital	0	0	0	0	0	69	0	
Symrise	0	251	0	0	0	0	0	
INCAL	220	0	0	0	0	0	0	
dreyfus	200	0	0	0	0	0	0	
Space	0	0	237	0	0	0	0	
Ammour	0	0	0	58	0	0	0	
Chaouchi	0	0	0	0	0	0	110	

Valeurs initiales des variables:

Ce tableau représente la valeur initiale de la variable Q_p^t :

Tableau 19 : valeur initiale de la variable Q_p^t

	Jus orange	emballage orange	jus 9F/9V	emballage 9F/9V	nectar raisin	emballage orange
Q_p^1	4746	450	4746	570	3893	510

Ce tableau représente la valeur initiale de la variable $Qout_f^t$:

Tableau 20 : valeur initiale de la variable $Qout_f^t$:

	Jus orange	jus 9F/9V	nectar raisin
$Qout_f^1$	5696	5600	4672

Ce tableau représente la valeur initiale de la variable NVR_r^t :

Tableau 21 : la valeur initiale de la variable NVR_r^t

	concentré orange	concentré 9F9V	concentré raisin	Pulpe orange	emballage	sirop	acide citrique
NVR_r^1	4720	4600	4200	3400	2500	9600	1220

Ce tableau représente la valeur initiale de la variable NVP_p^t :

Tableau 22 : la valeur initiale de la variable NVP_p^t

	Jus orange	emballage orange	jus 9F/9V	emballage 9F/9V	nectar raisin	emballage orange
NVP_p^1	1200	150	1300	120	1100	130

Ce tableau représente la valeur initiale de la variable NVF_{kf}^t

Tableau 23 : la valeur initiale de la variable NVF_{kf}^t

NVF_{kf}^1	Jus orange	jus 9F/9V	nectar raisin
Entrepot1	1898	1866	1557
Entrepot2	1800	1870	1490
Entrepot3	1900	1890	1580
Entrepot4	1850	1850	1560
Entrepot5	1870	1840	1540

Annexe3 : Modèle programmé sous Lingo**!Définition de ensembles!**

sets:

RL /1..7/: nvri;

EL /1..8/;

FL /1..3/: qouti, cap;

PL /1..6/: nvpi,qi;

TL /1..5/ : taux, dif, cash, emp;

KL /1..5/;

LL /1..3/;

lin1(RL,PL):alfa;

lin2(FL,PL):beta;

lin3(FL,TL):qout;

lin4(PL,TL):q;

lin5(RL,TL):nvr;

lin6(PL,TL):nvp;

lin7(EL,RL,TL):coutes, es;

lin8(KL,FL,TL):nvf;

lin9(FL,LL,TL):sales, rv,dem;

lin10(KL,FL):nvfi;

endsets

!initialisation emp ;**@for**(TL (t) | t #EQ# 1 : emp(t) = 500000);**!initialisation qout ;****@for**(TL (t) | t #EQ# 1 : **@for**(FL (f) :

qout(f,t) =qouti(f)));

!initialisation q ;**@for**(TL (t) | t #EQ# 1 : **@for**(PL (p) :

q(p,t) =qi(p)));

!initialisation nvr ;**@for**(TL (t) | t #EQ# 1 : **@for**(RL (r) :

nvr(r,t) =nvri(r)));

!initialisation nvp ;**@for**(TL (t) | t #EQ# 1 : **@for**(PL (p) :

nvp(p,t) =nvpi(p)));

!initialisation nvf ;**@for**(TL (t) | t #EQ# 1 : **@for**(KL (k) : **@for**(FL (f) :

nvf(k,f,t) =nvfi(k,f)));

!contrainte 1;**@for**(TL (t) | t #GT# 1 : **@for**(RL (r) :**@sum**(EL (e) : es(e,r,t) + nvr(r,t-1) = **@sum**(PL (p) :q(p,t)*alfa(r,t)) + nvr(r,t));**!contrainte 2;****@for**(PL (p) : **@for**(TL (t) | t #GT# 1 :

$q(p,t) + nvp(p,t-1) = @sum(FL (f):qout(f,t)* beta(f,p)) + nvp(p,t));$

!contrainte3;

@for (FL (f) : @for (TL (t) | t #GT# 1 :

 @sum (KL (k):nvf(k,f,t-1))+ qout(f,t) = @sum (KL (k):nvf(k,f,t))+ @sum (LL (l) :sales(f,l,t)));

!Contrainte4;

@for (LL (l):@for (TL (t) :

 @sum (FL (f) :sales(f,l,t)) <= @sum(FL (f): dem(f,l,t)));

!Contrainte5;

@for (FL (f) : @for (TL (t) :

 qout(f,t)<= cap(f));

!Contrainte6;

@for (TL (t) :

 cash(t) + emp(t)>= @sum (EL (e) : @sum (RL (r) : coutes(e,r,t)*es(e,r,t))) + dif(t));

@for (TL (t) : emp (t) <= maxemp);

!Contrainte7;

@sum(lin9 : rv*sales)>= @sum(TL : emp*(taux+1) + dif);

!fct objectif;

MAX = @sum(lin9 : rv*sales);

@for(TL : @gin(emp));

@for(lin3 : @gin(qout));

@for(lin4 : @gin(q));

@for(lin5 : @gin(nvr));

@for(lin6 : @gin(nvp));

@for(lin7 : @gin(es));

@for(lin8 : @gin(nvf));

@for(lin8 : @gin(b));

@for(lin9 : @gin(sales));

Résultats expérimentaux

Global optimal solution found at iteration: 8753

Objective value: 0.4216218E+08

Variable	Value	Reduced Cost
MAXEMP	1000000.	0.000000
B	0.000000	0.000000
TSALES	3113387.	0.000000
EMP(1)	500000.0	0.000000
EMP(2)	1000000.	0.000000
EMP(3)	1000000.	0.000000
EMP(4)	1000000.	0.000000
EMP(5)	1000000.	0.000000
QOUT(1, 1)	5696.000	0.000000
QOUT(1, 2)	0.000000	0.000000
QOUT(1, 3)	5040000.	0.000000
QOUT(1, 4)	0.000000	0.000000
QOUT(1, 5)	0.000000	0.000000
QOUT(2, 1)	5600.000	0.000000
QOUT(2, 2)	0.000000	0.000000
QOUT(2, 3)	752600.0	0.000000
QOUT(2, 4)	571600.0	0.000000
QOUT(2, 5)	0.000000	0.000000
QOUT(3, 1)	4672.000	0.000000
QOUT(3, 2)	438275.0	0.000000
QOUT(3, 3)	0.000000	0.000000
QOUT(3, 4)	5040000.	0.000000
QOUT(3, 5)	0.000000	0.000000
Q(1, 1)	4746.000	0.000000
Q(1, 2)	4635599.	0.000000
Q(1, 3)	1.000000	0.000000
Q(1, 4)	0.000000	0.000000
Q(1, 5)	0.000000	0.000000
Q(2, 1)	450.0000	0.000000
Q(2, 2)	403050.0	0.000000
Q(2, 3)	0.000000	0.000000
Q(2, 4)	0.000000	0.000000
Q(2, 5)	0.000000	0.000000
Q(3, 1)	4746.000	0.000000
Q(3, 2)	2.000000	0.000000
Q(3, 3)	691110.0	0.000000
Q(3, 4)	525852.0	0.000000
Q(3, 5)	0.000000	0.000000
Q(4, 1)	570.0000	0.000000
Q(4, 2)	0.000000	0.000000
Q(4, 3)	60089.00	0.000000
Q(4, 4)	45727.00	0.000000
Q(4, 5)	0.000000	0.000000

Q(5, 1)	3893.000	0.000000
Q(5, 2)	402113.0	0.000000
Q(5, 3)	0.000000	0.000000
Q(5, 4)	4636800.	0.000000
Q(5, 5)	0.000000	0.000000
Q(6, 1)	510.0000	0.000000
Q(6, 2)	34932.00	0.000000
Q(6, 3)	0.000000	0.000000
Q(6, 4)	403200.0	0.000000
Q(6, 5)	0.000000	0.000000
NVR(1, 1)	4720.000	0.000000
NVR(1, 2)	4720.000	0.000000
NVR(1, 3)	4720.000	0.000000
NVR(1, 4)	4720.000	0.000000
NVR(1, 5)	4720.000	0.000000
NVR(2, 1)	4600.000	0.000000
NVR(2, 2)	0.1000000E+31	0.000000
NVR(2, 3)	0.1000000E+31	0.000000
NVR(2, 4)	0.1000000E+31	0.000000
NVR(2, 5)	0.1000000E+31	0.000000
NVR(3, 1)	4200.000	0.000000
NVR(3, 2)	0.1000000E+31	0.000000
NVR(3, 3)	0.1000000E+31	0.000000
NVR(3, 4)	0.1000000E+31	0.000000
NVR(3, 5)	0.1000000E+31	0.000000
NVR(4, 1)	3400.000	0.000000
NVR(4, 2)	3400.000	0.000000
NVR(4, 3)	3400.000	0.000000
NVR(4, 4)	3400.000	0.000000
NVR(4, 5)	3400.000	0.000000
NVR(5, 1)	2500.000	0.000000
NVR(5, 2)	0.000000	0.000000
NVR(5, 3)	0.000000	0.000000
NVR(5, 4)	0.000000	0.000000
NVR(5, 5)	0.000000	0.000000
NVR(6, 1)	9600.000	0.000000
NVR(6, 2)	593448.0	0.000000
NVR(6, 3)	0.000000	0.000000
NVR(6, 4)	0.000000	0.000000
NVR(6, 5)	0.000000	0.000000
NVR(7, 1)	1220.000	0.000000
NVR(7, 2)	6781.000	0.000000
NVR(7, 3)	0.000000	0.000000
NVR(7, 4)	0.000000	0.000000
NVR(7, 5)	0.000000	0.000000
NVP(1, 1)	1200.000	0.000000
NVP(1, 2)	4636799.	0.000000
NVP(1, 3)	0.000000	0.000000
NVP(1, 4)	0.000000	0.000000
NVP(1, 5)	0.000000	0.000000

NVP(2, 1)	150.0000	0.000000
NVP(2, 2)	403200.0	0.000000
NVP(2, 3)	0.000000	0.000000
NVP(2, 4)	0.000000	0.000000
NVP(2, 5)	0.000000	0.000000
NVP(3, 1)	1300.000	0.000000
NVP(3, 2)	1302.000	0.000000
NVP(3, 3)	20.00000	0.000000
NVP(3, 4)	0.000000	0.000000
NVP(3, 5)	0.000000	0.000000
NVP(4, 1)	120.0000	0.000000
NVP(4, 2)	120.0000	0.000000
NVP(4, 3)	1.000000	0.000000
NVP(4, 4)	0.000000	0.000000
NVP(4, 5)	0.000000	0.000000
NVP(5, 1)	1100.000	0.000000
NVP(5, 2)	0.000000	0.000000
NVP(5, 3)	0.000000	0.000000
NVP(5, 4)	0.000000	0.000000
NVP(5, 5)	0.000000	0.000000
NVP(6, 1)	130.0000	0.000000
NVP(6, 2)	0.000000	0.000000
NVP(6, 3)	0.000000	0.000000
NVP(6, 4)	0.000000	0.000000
NVP(6, 5)	0.000000	0.000000
ES(1, 1, 1)	0.000000	0.000000
ES(1, 1, 2)	0.000000	0.000000
ES(1, 1, 3)	0.000000	0.000000
ES(1, 1, 4)	0.000000	0.000000
ES(1, 1, 5)	0.000000	0.000000
ES(1, 2, 1)	0.000000	0.000000
ES(1, 2, 2)	0.000000	0.000000
ES(1, 2, 3)	0.000000	0.000000
ES(1, 2, 4)	0.000000	0.000000
ES(1, 2, 5)	0.000000	0.000000
ES(1, 3, 1)	0.000000	0.000000
ES(1, 3, 2)	0.000000	0.000000
ES(1, 3, 3)	0.000000	0.000000
ES(1, 3, 4)	0.000000	0.000000
ES(1, 3, 5)	0.000000	0.000000
ES(1, 4, 1)	0.000000	0.000000
ES(1, 4, 2)	0.000000	0.000000
ES(1, 4, 3)	0.000000	0.000000
ES(1, 4, 4)	0.000000	0.000000
ES(1, 4, 5)	0.000000	0.000000
ES(1, 5, 1)	0.000000	0.000000
ES(1, 5, 2)	0.000000	0.000000
ES(1, 5, 3)	0.000000	0.000000
ES(1, 5, 4)	0.000000	0.000000
ES(1, 5, 5)	0.000000	0.000000

ES(1, 6, 1)	0.000000	0.000000
ES(1, 6, 2)	340079.0	0.000000
ES(1, 6, 3)	0.000000	0.000000
ES(1, 6, 4)	0.000000	0.000000
ES(1, 6, 5)	0.000000	0.000000
ES(1, 7, 1)	0.000000	0.000000
ES(1, 7, 2)	5561.000	0.000000
ES(1, 7, 3)	0.000000	0.000000
ES(1, 7, 4)	0.000000	0.000000
ES(1, 7, 5)	0.000000	0.000000
ES(2, 1, 1)	0.000000	0.000000
ES(2, 1, 2)	0.000000	0.000000
ES(2, 1, 3)	0.000000	0.000000
ES(2, 1, 4)	0.000000	0.000000
ES(2, 1, 5)	0.000000	0.000000
ES(2, 2, 1)	0.000000	0.000000
ES(2, 2, 2)	0.1000000E+31	0.000000
ES(2, 2, 3)	0.000000	0.000000
ES(2, 2, 4)	0.000000	0.000000
ES(2, 2, 5)	0.000000	0.000000
ES(2, 3, 1)	0.000000	0.000000
ES(2, 3, 2)	0.1000000E+31	0.000000
ES(2, 3, 3)	0.000000	0.000000
ES(2, 3, 4)	0.000000	0.000000
ES(2, 3, 5)	0.000000	0.000000
ES(2, 4, 1)	0.000000	0.000000
ES(2, 4, 2)	0.000000	0.000000
ES(2, 4, 3)	0.000000	0.000000
ES(2, 4, 4)	0.000000	0.000000
ES(2, 4, 5)	0.000000	0.000000
ES(2, 5, 1)	0.000000	0.000000
ES(2, 5, 2)	5473196.	0.000000
ES(2, 5, 3)	0.000000	0.000000
ES(2, 5, 4)	5611579.	0.000000
ES(2, 5, 5)	0.000000	0.000000
ES(2, 6, 1)	0.000000	0.000000
ES(2, 6, 2)	0.000000	0.000000
ES(2, 6, 3)	0.000000	0.000000
ES(2, 6, 4)	0.000000	0.000000
ES(2, 6, 5)	0.000000	0.000000
ES(2, 7, 1)	0.000000	0.000000
ES(2, 7, 2)	0.000000	0.000000
ES(2, 7, 3)	0.000000	0.000000
ES(2, 7, 4)	0.000000	0.000000
ES(2, 7, 5)	0.000000	0.000000
ES(3, 1, 1)	0.000000	0.000000
ES(3, 1, 2)	0.000000	0.000000
ES(3, 1, 3)	0.000000	0.000000
ES(3, 1, 4)	0.000000	0.000000
ES(3, 1, 5)	0.000000	0.000000

ES(3, 2, 1)	0.000000	0.000000
ES(3, 2, 2)	0.000000	0.000000
ES(3, 2, 3)	75758.00	0.000000
ES(3, 2, 4)	0.000000	0.000000
ES(3, 2, 5)	0.000000	0.000000
ES(3, 3, 1)	0.000000	0.000000
ES(3, 3, 2)	0.000000	0.000000
ES(3, 3, 3)	0.000000	0.000000
ES(3, 3, 4)	0.000000	0.000000
ES(3, 3, 5)	99863.00	0.000000
ES(3, 4, 1)	0.000000	0.000000
ES(3, 4, 2)	0.000000	0.000000
ES(3, 4, 3)	0.000000	0.000000
ES(3, 4, 4)	0.000000	0.000000
ES(3, 4, 5)	0.000000	0.000000
ES(3, 5, 1)	0.000000	0.000000
ES(3, 5, 2)	0.000000	0.000000
ES(3, 5, 3)	0.000000	0.000000
ES(3, 5, 4)	0.000000	0.000000
ES(3, 5, 5)	0.000000	0.000000
ES(3, 6, 1)	0.000000	0.000000
ES(3, 6, 2)	0.000000	0.000000
ES(3, 6, 3)	0.000000	0.000000
ES(3, 6, 4)	0.000000	0.000000
ES(3, 6, 5)	0.000000	0.000000
ES(3, 7, 1)	0.000000	0.000000
ES(3, 7, 2)	0.000000	0.000000
ES(3, 7, 3)	0.000000	0.000000
ES(3, 7, 4)	0.000000	0.000000
ES(3, 7, 5)	0.000000	0.000000
ES(4, 1, 1)	0.000000	0.000000
ES(4, 1, 2)	0.000000	0.000000
ES(4, 1, 3)	0.000000	0.000000
ES(4, 1, 4)	0.000000	0.000000
ES(4, 1, 5)	0.000000	0.000000
ES(4, 2, 1)	0.000000	0.000000
ES(4, 2, 2)	2.000000	0.000000
ES(4, 2, 3)	0.000000	0.000000
ES(4, 2, 4)	0.000000	0.000000
ES(4, 2, 5)	0.000000	0.000000
ES(4, 3, 1)	0.000000	0.000000
ES(4, 3, 2)	0.000000	0.000000
ES(4, 3, 3)	0.000000	0.000000
ES(4, 3, 4)	0.000000	0.000000
ES(4, 3, 5)	0.000000	0.000000
ES(4, 4, 1)	0.000000	0.000000
ES(4, 4, 2)	0.000000	0.000000
ES(4, 4, 3)	0.000000	0.000000
ES(4, 4, 4)	0.000000	0.000000
ES(4, 4, 5)	0.000000	0.000000

ES(4, 5, 1)	0.000000	0.000000
ES(4, 5, 2)	0.000000	0.000000
ES(4, 5, 3)	0.000000	0.000000
ES(4, 5, 4)	0.000000	0.000000
ES(4, 5, 5)	0.000000	0.000000
ES(4, 6, 1)	0.000000	0.000000
ES(4, 6, 2)	0.000000	0.000000
ES(4, 6, 3)	0.000000	0.000000
ES(4, 6, 4)	0.000000	0.000000
ES(4, 6, 5)	0.000000	0.000000
ES(4, 7, 1)	0.000000	0.000000
ES(4, 7, 2)	0.000000	0.000000
ES(4, 7, 3)	0.000000	0.000000
ES(4, 7, 4)	0.000000	0.000000
ES(4, 7, 5)	0.000000	0.000000
ES(5, 1, 1)	0.000000	0.000000
ES(5, 1, 2)	0.000000	0.000000
ES(5, 1, 3)	0.000000	0.000000
ES(5, 1, 4)	0.000000	0.000000
ES(5, 1, 5)	0.000000	0.000000
ES(5, 2, 1)	0.000000	0.000000
ES(5, 2, 2)	0.000000	0.000000
ES(5, 2, 3)	0.000000	0.000000
ES(5, 2, 4)	0.000000	0.000000
ES(5, 2, 5)	0.000000	0.000000
ES(5, 3, 1)	0.000000	0.000000
ES(5, 3, 2)	0.000000	0.000000
ES(5, 3, 3)	0.000000	0.000000
ES(5, 3, 4)	0.000000	0.000000
ES(5, 3, 5)	0.000000	0.000000
ES(5, 4, 1)	0.000000	0.000000
ES(5, 4, 2)	0.000000	0.000000
ES(5, 4, 3)	0.000000	0.000000
ES(5, 4, 4)	0.000000	0.000000
ES(5, 4, 5)	0.000000	0.000000
ES(5, 5, 1)	0.000000	0.000000
ES(5, 5, 2)	0.000000	0.000000
ES(5, 5, 3)	0.000000	0.000000
ES(5, 5, 4)	0.000000	0.000000
ES(5, 5, 5)	0.000000	0.000000
ES(5, 6, 1)	0.000000	0.000000
ES(5, 6, 2)	0.000000	0.000000
ES(5, 6, 3)	0.000000	0.000000
ES(5, 6, 4)	0.000000	0.000000
ES(5, 6, 5)	0.000000	0.000000
ES(5, 7, 1)	0.000000	0.000000
ES(5, 7, 2)	0.000000	0.000000
ES(5, 7, 3)	731.0000	0.000000
ES(5, 7, 4)	0.000000	0.000000
ES(5, 7, 5)	0.000000	0.000000

ES(6, 1, 1)	0.000000	0.000000
ES(6, 1, 2)	0.000000	0.000000
ES(6, 1, 3)	0.000000	0.000000
ES(6, 1, 4)	0.000000	0.000000
ES(6, 1, 5)	0.000000	0.000000
ES(6, 2, 1)	0.000000	0.000000
ES(6, 2, 2)	0.000000	0.000000
ES(6, 2, 3)	0.000000	0.000000
ES(6, 2, 4)	0.000000	0.000000
ES(6, 2, 5)	0.000000	0.000000
ES(6, 3, 1)	0.000000	0.000000
ES(6, 3, 2)	0.000000	0.000000
ES(6, 3, 3)	0.000000	0.000000
ES(6, 3, 4)	0.000000	0.000000
ES(6, 3, 5)	0.000000	0.000000
ES(6, 4, 1)	0.000000	0.000000
ES(6, 4, 2)	0.000000	0.000000
ES(6, 4, 3)	0.000000	0.000000
ES(6, 4, 4)	0.000000	0.000000
ES(6, 4, 5)	0.000000	0.000000
ES(6, 5, 1)	0.000000	0.000000
ES(6, 5, 2)	0.000000	0.000000
ES(6, 5, 3)	0.000000	0.000000
ES(6, 5, 4)	0.000000	0.000000
ES(6, 5, 5)	0.000000	0.000000
ES(6, 6, 1)	0.000000	0.000000
ES(6, 6, 2)	0.000000	0.000000
ES(6, 6, 3)	0.000000	0.000000
ES(6, 6, 4)	0.000000	0.000000
ES(6, 6, 5)	0.000000	0.000000
ES(6, 7, 1)	0.000000	0.000000
ES(6, 7, 2)	0.000000	0.000000
ES(6, 7, 3)	0.000000	0.000000
ES(6, 7, 4)	0.000000	0.000000
ES(6, 7, 5)	0.000000	0.000000
ES(7, 1, 1)	0.000000	0.000000
ES(7, 1, 2)	0.000000	0.000000
ES(7, 1, 3)	0.000000	0.000000
ES(7, 1, 4)	0.000000	0.000000
ES(7, 1, 5)	0.000000	0.000000
ES(7, 2, 1)	0.000000	0.000000
ES(7, 2, 2)	0.000000	0.000000
ES(7, 2, 3)	0.000000	0.000000
ES(7, 2, 4)	0.000000	0.000000
ES(7, 2, 5)	0.000000	0.000000
ES(7, 3, 1)	0.000000	0.000000
ES(7, 3, 2)	0.000000	0.000000
ES(7, 3, 3)	0.000000	0.000000
ES(7, 3, 4)	1025000.	0.000000
ES(7, 3, 5)	0.000000	0.000000

ES(7, 4, 1)	0.000000	0.000000
ES(7, 4, 2)	0.000000	0.000000
ES(7, 4, 3)	0.000000	0.000000
ES(7, 4, 4)	0.000000	0.000000
ES(7, 4, 5)	0.000000	0.000000
ES(7, 5, 1)	0.000000	0.000000
ES(7, 5, 2)	0.000000	0.000000
ES(7, 5, 3)	0.000000	0.000000
ES(7, 5, 4)	0.000000	0.000000
ES(7, 5, 5)	0.000000	0.000000
ES(7, 6, 1)	0.000000	0.000000
ES(7, 6, 2)	243769.0	0.000000
ES(7, 6, 3)	0.000000	0.000000
ES(7, 6, 4)	0.000000	0.000000
ES(7, 6, 5)	0.000000	0.000000
ES(7, 7, 1)	0.000000	0.000000
ES(7, 7, 2)	0.000000	0.000000
ES(7, 7, 3)	0.000000	0.000000
ES(7, 7, 4)	0.000000	0.000000
ES(7, 7, 5)	0.000000	0.000000
ES(8, 1, 1)	0.000000	0.000000
ES(8, 1, 2)	0.000000	0.000000
ES(8, 1, 3)	0.000000	0.000000
ES(8, 1, 4)	0.000000	0.000000
ES(8, 1, 5)	0.000000	0.000000
ES(8, 2, 1)	0.000000	0.000000
ES(8, 2, 2)	0.000000	0.000000
ES(8, 2, 3)	1.000000	0.000000
ES(8, 2, 4)	0.000000	0.000000
ES(8, 2, 5)	0.000000	0.000000
ES(8, 3, 1)	0.000000	0.000000
ES(8, 3, 2)	0.000000	0.000000
ES(8, 3, 3)	0.000000	0.000000
ES(8, 3, 4)	0.000000	0.000000
ES(8, 3, 5)	0.000000	0.000000
ES(8, 4, 1)	0.000000	0.000000
ES(8, 4, 2)	0.000000	0.000000
ES(8, 4, 3)	0.000000	0.000000
ES(8, 4, 4)	0.000000	0.000000
ES(8, 4, 5)	0.000000	0.000000
ES(8, 5, 1)	0.000000	0.000000
ES(8, 5, 2)	0.000000	0.000000
ES(8, 5, 3)	0.000000	0.000000
ES(8, 5, 4)	0.000000	0.000000
ES(8, 5, 5)	0.000000	0.000000
ES(8, 6, 1)	0.000000	0.000000
ES(8, 6, 2)	0.000000	0.000000
ES(8, 6, 3)	0.000000	0.000000
ES(8, 6, 4)	0.000000	0.000000
ES(8, 6, 5)	0.000000	0.000000

ES(8, 7, 1)	0.000000	0.000000
ES(8, 7, 2)	0.000000	0.000000
ES(8, 7, 3)	0.000000	0.000000
ES(8, 7, 4)	0.000000	0.000000
ES(8, 7, 5)	0.000000	0.000000
NVF(1, 1, 1)	1898.000	0.000000
NVF(1, 1, 2)	0.000000	0.000000
NVF(1, 1, 3)	0.000000	0.000000
NVF(1, 1, 4)	5042471.	0.000000
NVF(1, 1, 5)	4420599.	0.000000
NVF(1, 2, 1)	1866.000	0.000000
NVF(1, 2, 2)	0.000000	0.000000
NVF(1, 2, 3)	0.000000	0.000000
NVF(1, 2, 4)	0.000000	0.000000
NVF(1, 2, 5)	0.000000	0.000000
NVF(1, 3, 1)	1557.000	0.000000
NVF(1, 3, 2)	0.000000	0.000000
NVF(1, 3, 3)	0.000000	0.000000
NVF(1, 3, 4)	5023298.	0.000000
NVF(1, 3, 5)	4899938.	0.000000
NVF(2, 1, 1)	1800.000	0.000000
NVF(2, 1, 2)	0.000000	0.000000
NVF(2, 1, 3)	0.000000	0.000000
NVF(2, 1, 4)	0.000000	0.000000
NVF(2, 1, 5)	0.000000	0.000000
NVF(2, 2, 1)	1870.000	0.000000
NVF(2, 2, 2)	0.000000	0.000000
NVF(2, 2, 3)	0.000000	0.000000
NVF(2, 2, 4)	0.000000	0.000000
NVF(2, 2, 5)	0.000000	0.000000
NVF(2, 3, 1)	1490.000	0.000000
NVF(2, 3, 2)	0.000000	0.000000
NVF(2, 3, 3)	0.000000	0.000000
NVF(2, 3, 4)	0.000000	0.000000
NVF(2, 3, 5)	0.000000	0.000000
NVF(3, 1, 1)	1900.000	0.000000
NVF(3, 1, 2)	0.000000	0.000000
NVF(3, 1, 3)	0.000000	0.000000
NVF(3, 1, 4)	0.000000	0.000000
NVF(3, 1, 5)	0.000000	0.000000
NVF(3, 2, 1)	1890.000	0.000000
NVF(3, 2, 2)	0.000000	0.000000
NVF(3, 2, 3)	0.000000	0.000000
NVF(3, 2, 4)	0.000000	0.000000
NVF(3, 2, 5)	0.000000	0.000000
NVF(3, 3, 1)	1580.000	0.000000
NVF(3, 3, 2)	0.000000	0.000000
NVF(3, 3, 3)	0.000000	0.000000
NVF(3, 3, 4)	0.000000	0.000000
NVF(3, 3, 5)	0.000000	0.000000

NVF(4, 1, 1)	1850.000	0.000000
NVF(4, 1, 2)	9318.000	0.000000
NVF(4, 1, 3)	5042471.	0.000000
NVF(4, 1, 4)	0.000000	0.000000
NVF(4, 1, 5)	0.000000	0.000000
NVF(4, 2, 1)	1850.000	0.000000
NVF(4, 2, 2)	9316.000	0.000000
NVF(4, 2, 3)	13104.00	0.000000
NVF(4, 2, 4)	0.000000	0.000000
NVF(4, 2, 5)	0.000000	0.000000
NVF(4, 3, 1)	1560.000	0.000000
NVF(4, 3, 2)	18.00000	0.000000
NVF(4, 3, 3)	18.00000	0.000000
NVF(4, 3, 4)	0.000000	0.000000
NVF(4, 3, 5)	0.000000	0.000000
NVF(5, 1, 1)	1870.000	0.000000
NVF(5, 1, 2)	0.000000	0.000000
NVF(5, 1, 3)	0.000000	0.000000
NVF(5, 1, 4)	0.000000	0.000000
NVF(5, 1, 5)	0.000000	0.000000
NVF(5, 2, 1)	1840.000	0.000000
NVF(5, 2, 2)	0.000000	0.000000
NVF(5, 2, 3)	0.000000	0.000000
NVF(5, 2, 4)	0.000000	0.000000
NVF(5, 2, 5)	0.000000	0.000000
NVF(5, 3, 1)	1540.000	0.000000
NVF(5, 3, 2)	0.000000	0.000000
NVF(5, 3, 3)	0.000000	0.000000
NVF(5, 3, 4)	0.000000	0.000000
NVF(5, 3, 5)	0.000000	0.000000
SALES(1, 1, 1)	68320.00	-15.00000
SALES(1, 1, 2)	0.000000	-13.00000
SALES(1, 1, 3)	6832.000	-20.00000
SALES(1, 1, 4)	0.000000	-15.00000
SALES(1, 1, 5)	610896.0	-13.00000
SALES(1, 2, 1)	15664.00	-20.00000
SALES(1, 2, 2)	0.000000	-8.000000
SALES(1, 2, 3)	15.00000	-6.000000
SALES(1, 2, 4)	0.000000	-15.00000
SALES(1, 2, 5)	0.000000	-15.00000
SALES(1, 3, 1)	481104.0	-13.00000
SALES(1, 3, 2)	0.000000	-20.00000
SALES(1, 3, 3)	0.000000	-15.00000
SALES(1, 3, 4)	0.000000	-13.00000
SALES(1, 3, 5)	10976.00	-20.00000
SALES(2, 1, 1)	0.000000	-8.000000
SALES(2, 1, 2)	0.000000	-6.000000
SALES(2, 1, 3)	0.000000	-15.00000
SALES(2, 1, 4)	156640.0	-15.00000
SALES(2, 1, 5)	0.000000	-13.00000

SALES(2, 2, 1)	0.000000	-20.00000
SALES(2, 2, 2)	0.000000	-15.00000
SALES(2, 2, 3)	639052.0	-13.00000
SALES(2, 2, 4)	0.000000	-20.00000
SALES(2, 2, 5)	0.000000	-8.000000
SALES(2, 3, 1)	0.000000	-6.000000
SALES(2, 3, 2)	0.000000	-15.00000
SALES(2, 3, 3)	109760.0	-15.00000
SALES(2, 3, 4)	428064.0	-13.00000
SALES(2, 3, 5)	0.000000	-20.00000
SALES(3, 1, 1)	0.000000	-15.00000
SALES(3, 1, 2)	266448.0	-13.00000
SALES(3, 1, 3)	0.000000	-20.00000
SALES(3, 1, 4)	0.000000	-8.000000
SALES(3, 1, 5)	0.000000	-6.000000
SALES(3, 2, 1)	0.000000	-15.00000
SALES(3, 2, 2)	167200.0	-15.00000
SALES(3, 2, 3)	0.000000	-13.00000
SALES(3, 2, 4)	16720.00	-20.00000
SALES(3, 2, 5)	123360.0	-15.00000
SALES(3, 3, 1)	0.000000	-13.00000
SALES(3, 3, 2)	12336.00	-20.00000
SALES(3, 3, 3)	0.000000	-8.000000
SALES(3, 3, 4)	0.000000	-6.000000
SALES(3, 3, 5)	0.000000	-15.00000