



HAL
open science

Contribution à l'amélioration de la performance globale Supply Chain : cas de la sous-traitance de la production dans l'aéronautique

Denis Arlette Olmos Sanchez

► To cite this version:

Denis Arlette Olmos Sanchez. Contribution à l'amélioration de la performance globale Supply Chain : cas de la sous-traitance de la production dans l'aéronautique. Autre. Université Paris Saclay (COMUE), 2016. Français. NNT : 2016SACLC056 . tel-01523978

HAL Id: tel-01523978

<https://theses.hal.science/tel-01523978>

Submitted on 17 May 2017

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

NNT : 2016SACL056

THESE DE DOCTORAT
DE
L'UNIVERSITE PARIS-SACLAY,
PREPAREE A
CENTRALESUPELEC

ÉCOLE DOCTORALE N°573

Interfaces : approches interdisciplinaires / fondements, applications et innovation

Spécialité de doctorat : Sciences et technologies industrielles

Par

Mme Denis Arlette Olmos Sanchez

“Contribution à l’amélioration de la performance Supply Chain :
cas de la sous-traitance de la production aéronautique”

Thèse présentée et soutenue à CentraleSupélec, Châtenay-Malabry, le 27 Septembre 2016:

Composition du Jury :

M. Vincent Giard, Professeur des Universités, Université Paris Dauphine, Président

M. Mohamed-Zied Babai, Professeur, Kedge Business School, Rapporteur

Mme. Nathalie Fabbes-Costes, Professeur des Universités, Université Aix-Marseille, Rapporteur

M. Yves Dallery, Professeur des Universités, CentraleSupélec, Examineur

M. Zied Jemai, Professeur à l'ENI de Tunis et Pr. associé de CentraleSupélec, Examineur

M. Jean-Claude Bocquet, Professeur, CentraleSupélec, Directeur de thèse

M. Philippe Payrard, Directeur Supply Chain, Dassault-Aviation, Invité

Mme. Marie-Agnès Forman, Ingénieur, Dassault-Aviation, Invitée

Remerciements

Ce travail a été réalisé au sein du laboratoire Génie Industriel de CentraleSupélec, en collaboration avec Dassault Aviation.

Je souhaite tout d'abord remercier Jean-Claude Bocquet, ancien directeur du laboratoire et directeur de ma thèse, de m'avoir fait confiance depuis le début de cette aventure, et pour tous ses conseils, sa patience et son soutien, particulièrement sur les six derniers mois de rédaction.

Mes remerciements vont également à mes tuteurs industriels de Dassault Aviation: Marie-Agnès Forman et Philippe Payrard, pour leur accueil, leur disponibilité et leurs conseils. Egalement à Benoît Berger pour m'avoir ouvert les portes de l'entreprise afin de pouvoir y appliquer nos méthodologies dans un terrain industriel concret.

Mes sincères remerciements s'adressent aux professeurs Mohamed-Zied Babai et Nathalie Fabbes-Costes d'avoir accepté de juger ce travail de thèse, ainsi qu'aux professeurs Vincent Giard, Yves Dallery et Zied Jemai pour faire partie de mon jury.

Je remercie également les experts Supply Chain de Dassault Aviation qui m'ont aidé à la compréhension des aspects techniques de ma problématique et dans la collecte des données nécessaires à mes analyses, et particulièrement à Claude Palumbo qui m'a présenté le domaine de la sous-traitance.

Je souhaite aussi remercier tous les doctorants et permanents du LGI. Une mention spéciale aux fonctions « support » Sylvie, Delphine, Corinne et Carole qui m'ont fait passer de très bons moments de détente au coin café et dans le labo. Aux thésards, qui sont devenus comme une famille, et avec qui j'ai partagé tant de moments au laboratoire et en dehors : Karim, Toufic, Hadi, Hakim, Mehdi, Pascalou, Ronay et Laurie.

J'exprime également ma gratitude à mes amis mexicains et espagnols: Nydia, Lourdes, Alberto, Juan Carlos, Laura, Vicky et Jaime qui m'ont beaucoup aidé et soutenu, et pour les moments qui m'ont permis de m'évader du stress de la thèse et de me retrouver dans une ambiance familiale et chaleureuse.

Je souhaite aussi remercier mon pays d'origine, le Mexique qui, à travers le « Consejo Nacional de Ciencias y Tecnología (CONACYT) » et le Ministère d'Education (SEP), ont contribué au soutien financier de ce projet doctoral.

Merci à ma famille: gracias a mi madre, Martha, quien siempre ha sido un ejemplo de lucha constante y de perseverancia, y a quien agradezco de corazón por todo el apoyo incondicional que siempre me has dado; a mis hermanos, Marleth y Antonio por siempre apoyarme moralmente, a pesar de la distancia y al resto de la familia por su comprensión.

Je ne pourrai conclure ces remerciements sans mentionner Maxime, mon fiancé, qui n'a cessé de me soutenir pendant cette aventure grâce à laquelle nous nous sommes rencontrés. Merci infiniment pour ta compréhension, pour ton aide et pour ta patience sur la dernière ligne droite de ce projet.

Table des matières

Remerciements	I
Table des matières	III
Liste des figures	VIII
Liste des tableaux	XII
Liste des abréviations.....	XIV
Introduction générale.....	XVII
Chapitre 1 Contexte.....	1
1.1 Les enjeux de l'aéronautique.....	1
1.2 La Chaîne de Valeur (CDV) aéronautique	3
1.2.1 La Valeur Ajoutée (VA) au produit	5
1.2.2 La Valeur Ajoutée (VA) dans le Cycle de Vie (CdV) : le process	6
1.2.3 La Chaîne de Valeur (CDV) de notre cas d'étude : Dassault Aviation.....	7
1.2.3.1 La CDV Dassault Aviation : la Valeur Ajoutée (VA) des produits.....	9
1.2.3.2 La CDV Dassault Aviation : la Valeur Ajoutée (VA) des processus	10
1.3 La Supply Chain (SC) dans la filière aéronautique	11
1.3.1 Définition de la Supply Chain (SC)	11
1.3.2 Les Processus Supply Chain	13
1.3.2.1 Le processus achat	14
1.3.2.2 La Sous-Traitance aéronautique.....	15
1.3.3 La Supply Chain (SC) Dassault Aviation	17
1.3.3.1 Les achats au sein de la SC Dassault Aviation : se procurer	18
1.3.3.2 La sous-traitance (SST) de production au sein de Dassault Aviation.....	19
1.4 La Performance d'une Supply Chain (SC).....	21
1.4.1 Notion de Performance.....	22
1.4.2 La Performance SC au sein de DA.....	23
1.4.3 La relation de la valeur avec la Performance	24

1.5	Conclusions du chapitre 1	25
Chapitre 2	Problématique, Etat de l'art & Approche	27
2.1	Problématique :	27
2.1.1	Caractéristiques industrielles.....	27
2.1.2	Positionnement académique	32
2.1.2.1	Nécessité d'un paradigme systémique	32
2.1.2.2	La Supply Chain aéronautique comme « système complexe ».....	33
2.2	Etat de l'art dans le domaine de la Supply Chain.....	35
2.2.1	Travaux traitant de la modélisation et de la simulation appliquées à la Supply Chain	35
2.2.1.1	Modélisation	35
2.2.1.2	Simulation	38
2.2.2	Travaux traitant de l'amélioration des processus appliqués à la Supply Chain ...	39
2.3	Formulation des questions de recherche	41
2.4	Approche	43
2.4.1	QR1 : Modélisation systémique de la Supply Chain.....	43
2.4.2	QR2 : Traitement d'indicateurs priorisés: analyse des dysfonctionnements et simulation.....	44
2.4.3	QR3 : Proposition d'une méthodologie d'établissement de plan d'actions	45
2.5	Conclusions du chapitre 2	48
Chapitre 3	Modélisation Systémique de la Supply Chain.....	49
3.1	Etat de l'art sur la modélisation des systèmes complexes.....	49
3.1.1	La méthode SCOS'M	50
3.1.2	Les Matrices MDM (Multiple Domain Matrix).....	52
3.2	Cas d'étude : modélisation de la Sous-traitance d'une SC.....	53
3.2.1	Observation du terrain d'étude et recueil de données	54
3.2.2	Application de la Méthode SCOS'M pour la modélisation systémique	56
3.2.2.1	Périmètre du système	56

3.2.2.2	Décomposition du sous-système « Sous-traitance de la Production d'une Supply Chain (STP-SC)»	57
3.2.2.3	Phases du cycle de vie (CdV) du système SC.....	58
3.2.2.4	Représentation de la SC selon 4 pôles	58
3.2.3	Représentation du sous-système « Sous-traitance de la Production d'une Supply Chain (STP-SC) » à travers les matrices MDM.....	60
3.2.3.1	Matrice 1 (M1) : Valeurs (AT) identifiées pour les parties prenantes (PP) 60	
3.2.3.2	Matrice 2 (M2): Indicateurs (i) pertinents pour les valeurs attendues (AT)62	
3.2.3.3	Matrice 3 (M3): Activités (ap) de la Sous-traitance générant de la valeur mesurée par les indicateurs (i).....	63
3.2.3.4	Matrice 4 (M4): Ressources (r) consommées par les activités (ap) de la Sous-traitance	66
3.2.4	Identification des processus à améliorer	67
3.2.5	Remarques concernant la validation et la généricité de la méthode.....	69
3.3	Conclusions du chapitre 3	69

Chapitre 4 Traitement d'indicateurs priorisés: analyse de dysfonctionnements et simulation 71

4.1	Etat de l'art sur les traitements des indicateurs priorisés via l'analyse de causes et la simulation	71
4.1.1	Analyses des processus et ses indicateurs	71
4.1.2	Analyses des dysfonctionnements de processus	72
4.1.3	Modélisation et Simulation sous incertitudes dans la SC	74
4.2	Méthodologie proposée pour analyser les indicateurs priorisés.....	79
4.2.1	Identification des causes des dysfonctionnements	80
4.2.1.1	Analyse des processus et ses indicateurs	80
4.2.1.1.1	Analyse chronologique du processus étudié.....	81
4.2.1.1.2	Analyse des variables utilisées lors du calcul des indicateurs.....	86
4.2.1.2	Analyse de « causes racines (CR)» impactant l'indicateur priorisé	88

4.2.1.2.1	Catégorisation des causes racines à travers le diagramme Ishikawa construit avec les avis des experts.....	88
4.2.1.2.2	Quantification des causes racines (CR)	91
4.2.2	Simulation de l'indicateur priorisé.....	96
4.2.2.1	Etape 1 : Définition du modèle simulé.....	97
4.2.2.2	Etape 2 : Génération d'observations et calcul de l'output	98
4.2.2.3	Etape 3 : Sensibilité des causes racines	101
4.3	Conclusions du chapitre 4	103
Chapitre 5 Résultats de la simulation et Proposition d'une méthodologie d'établissement de plan d'actions		105
5.1	Analyse de sensibilité et priorisation des dysfonctionnements	105
5.1.1	Traitement des résultats de l'analyse de sensibilité de la simulation.....	106
5.1.2	Interprétation des résultats de l'analyse de sensibilité de la simulation.....	108
5.2	Les leviers potentiels d'amélioration	110
5.2.1	Le niveau décisionnel stratégique	111
5.2.2	Le niveau décisionnel tactique	113
5.2.3	Les leviers de type « support ».....	114
5.2.4	Synthèse des leviers d'amélioration des performances.....	115
5.3	Proposition d'une méthodologie permettant l'établissement d'un plan d'actions d'amélioration des CR.....	117
5.3.1	Evaluation des leviers par rapport aux CRs	117
5.3.2	Evaluation des critères de mise en place des leviers	120
5.3.3	Définition de l'outil : matrice causes racines, leviers et critères.....	122
5.4	Conclusions du chapitre 5	128
Conclusions et perspectives		129
Publications et Communications.....		135
Bibliographie.....		136
A. Annexes Chapitre 1 (Contexte)		143

A.1 Programme d'avions militaires: Rafale.....	143
A.2 Programme d'avions d'affaires: Falcon.....	143

Liste des figures

Figure 1.1 Historique et prévisions de commandes et de production des avions (1981-2018) (Deloitte 2015)	1
Figure 1.2 Evolution du modèle organisationnel entre Airbus et ses sous-traitants (Airbus Group 2012)	3
Figure 1.3 Structuration de la filière aéronautique (CNI 2013)	4
Figure 1.4 Répartition des emplois salariés et des entreprises du secteur aéronautique en France 2012 (GIFAS 2014).....	4
Figure 1.5 Structure d'un avion, exemple d'un Airbus (Airbus Group 2012)	5
Figure 1.6 Le Cycle de Vie (CdV) d'un produit aéronautique (Adapté de (CQPM 2014))	6
Figure 1.7 Schéma de la structure du Groupe Dassault Aviation (Dassault Aviation 2014a) ...	8
Figure 1.8 Evolution de commandes consolidées du groupe Dassault Aviation en millions d'euros (Dassault Aviation 2014a).....	8
Figure 1.9 Evolution du Chiffre d'Affaire consolidé du groupe en million d'euros (Dassault Aviation 2014a).....	9
Figure 1.10 Localisation géographique des sites de production du Groupe Dassault Aviation (Dassault Aviation 2014a).....	10
Figure 1.11 Représentation des flux de processus SC au sein de la CDV Dassault Aviation (Dassault Aviation 2015)	11
Figure 1.12 Représentation des processus SC (Stadler et al. 2003).....	13
Figure 1.13 Représentation d'une SC aéronautique (Adapté de (Stadler et al. 2003; Handfield & Nichols 1999)).....	13
Figure 1.14 Représentation d'un processus d'achat (Perrotin et al. 2007)	14
Figure 1.15 Famille des achats et exemples de segments d'achat (Perrotin et al. 2007).....	15
Figure 1.16 Organisation de la sous-traitance par niveaux (CESR 2007)	16
Figure 1.17 Représentation des processus SC au sein du Cycle de Vie d'un avion (Dassault Aviation 2013).....	17
Figure 1.18 Définition de la Supply Chain Dassault Aviation (Dassault Aviation 2013)	18
Figure 1.19 Segmentation des fournisseurs de Dassault Aviation (Dassault Aviation 2014a)	19
Figure 1.20 Classification de la sous-traitance au sein de Dassault Aviation (Dassault Aviation 2014b).....	20

Figure 1.21 Exemple d'indicateurs par niveau décisionnel au sein de la SC (Amrani-Zouggar 2009).....	23
Figure 1.22 Axes de la Performance Opérationnelle attendu par Dassault Aviation.....	23
Figure 1.23 Différents niveaux de performance SC Dassault amont et interne (Dassault Aviation 2015).....	24
Figure 2.1 Sources de la complexité : L'hétérogénéité organisationnelle et les flux d'une SC (Isik 2011)	29
Figure 2.2 Axes de la Performance qui seront traités: économique et délais.....	31
Figure 2.3 Définition de la systémique par le collègue français de systémique. Source : (Durand 2013).....	33
Figure 2.4 Diagramme des axes d'un système (Bocquet et al. 2007).....	34
Figure 2.5 Différents niveaux de décisions dans la Supply Chain (Dallery 2000; Babai 2005)	36
Figure 2.6 Démarche générale de la recherche (Adapté de (Liu 1992))	43
Figure 3.1 Méthode SCOS'M pour la modélisation des systèmes complexes (Bocquet et al. 2007).....	51
Figure 3.2 Matrices MDM appliquées à la méthode SCOS'M (adapté de (Jean 2013))	52
Figure 3.3 Déroulement des entretiens.....	54
Figure 3.4 Limitation du système étudié et sa décomposition initiale en sous-systèmes	56
Figure 3.5 Décomposition du sous-système « Sous-traitance de Production d'une Supply Chain »	57
Figure 3.6 Les phases du Cycle de Vie de la SC.....	58
Figure 3.7 Vision systémique d'un système SC (adapté de (Perron 2002)).....	59
Figure 3.8 Les activités (ap) du processus sous-traitance	65
Figure 3.9 Méthode de re-conception en appliquant les matrices MDM à la méthode SCOS'M (adaptée de (Jean 2013))	68
Figure 4.1 Exemple d'un diagramme Ishikawa (adapté de (Ishikawa 1986))	73
Figure 4.2 Diagramme de Pareto (Adapté de (Wilkinson 2006))	74
Figure 4.3 Situation général pour la modélisation sous incertitude (adaptée du (De Rocquigny 2011)).....	75
Figure 4.4 Pourcentage de papiers publiés par méthode de simulation utilisé (Jahangirian et al. 2010).....	77
Figure 4.5 Méthodologie pour analyser les indicateurs priorités.....	79
Figure 4.6 Fiche modèle pour les entretiens semi-structurés	82

Figure 4.7 Représentation TIMELINE du processus de sous-traitance	84
Figure 4.8 Fiche modèle pour les entretiens semi-structurés	89
Figure 4.9 Diagramme Ishikawa sur les causes racines qui impactent l'SOTD Sous-traitant .	90
Figure 4.10 Démarche collaborative pour renseigner le Dossier d'Echange (DE).....	92
Figure 4.11 Capture d'écran du dossier d'échange de l'outil de collaboration pour quantifier les causes racines sous-traitant	92
Figure 4.12 Diagramme de Pareto pour quantifier des causes racines.....	93
Figure 4.13 Démarche de la simulation.....	97
Figure 4.14 Représentation d'un modèle simulé	98
Figure 4.15 Exemples d'OA générés aléatoirement	99
Figure 4.16 Exemple de génération aléatoire des délais stochastiques	99
Figure 4.17 Exemple de calcul des dates pour le délai fournisseur	100
Figure 4.18 Exemples du calcul de la variable binaire pour chaque CR.....	101
Figure 4.19 Exemple de valeurs de l'output « date de réception » pour les CR2 et CR3.....	101
Figure 4.20 Exemple du calcul de l'indicateur SOTD	101
Figure 4.21 Exemple du calcul de l'indicateur SOTD en appliquant une diminution de 0 à 95% sur la CR9	102
Figure 5.1 Rappel de la démarche de la simulation	106
Figure 5.2 Exemple de tableau de résultats bruts de l'analyse de sensibilité	106
Figure 5.3 Variations de l'SOTD selon l'amélioration de la fréquence d'apparition de la CR1	107
Figure 5.4 Variations de l'SOTD selon l'amélioration de l'impact sur le délai de la CR2	107
Figure 5.5 Résultats de l'amélioration moyenne de l'SOTD	108
Figure 5.6 Résultats triés des améliorations de l'SOTD ratio	109
Figure 5.7 Résultats triés des améliorations de l'SOTD quantité.....	109
Figure 5.8 Etapes de la méthodologie d'établissement de plan d'actions pour réduire les paramètres des CRs, améliorant ainsi l'SOTD.....	117
Figure 5.9 Exemple de l'évaluation des leviers par rapport aux CR	118
Figure 5.10 Exemple de l'évaluation des leviers par rapport aux CR avec ses priorités.....	119
Figure 5.11 Exemple de l'évaluation des leviers par rapport aux critères.....	121
Figure 5.12 Exemple de l'évaluation des leviers par rapport aux critères avec ses priorités .	122
Figure 5.13 Exemple du calcul de l'évaluation levier/CR	124
Figure 5.14 Exemple du calcul de l'évaluation levier/critères.....	125
Figure 5.15 Exemple d'un avion militaire : Rafale (Dassault Aviation 2015).....	143

Figure 5.16 Exemple de la gamme de produits : Falcon (Dassault Aviation 2015) 144

Liste des tableaux

Tableau 1.1 Détail des types des opérations réalisés par les sous-traitants (Dassault Aviation 2014b).....	21
Tableau 1.2 Récapitulatif de domaine d'activités des sous-traitants (Dassault Aviation 2014b)	21
Tableau 1.3 Récapitulatif des définitions de Performance trouvées dans la littérature (élaboration par l'auteur).....	22
Tableau 2.1 Occurrence des travaux concernant les méthodes de conception et d'amélioration de processus dans le moteur de recherche Science direct (janvier 2016)	40
Tableau 2.2 Récapitulatif de l'approche développée	47
Tableau 3.1 Parties prenantes rencontrées	55
Tableau 3.2 Matrice 1(M1) : Valeurs attendues par les différentes Parties Prenantes (PP) de la SC	61
Tableau 3.3 : Matrice 2 (M2): indicateurs qui mesurent les attentes des parties prenantes (PP)	62
Tableau 3.4 Matrice 3 (M3): Activités de la Sous-traitance mesurées par les indicateurs identifiés	64
Tableau 3.5 Matrice 4 (M4): Identification des ressources consommées par les activités de Sous-traitance	66
Tableau 4.1 Récapitulatif des articles traitant la modélisation sous incertitude (élaboré par l'auteur).....	78
Tableau 4.2 Description des activités qui contribuent au calcul des indicateurs	83
Tableau 4.3 Catégorisation de causes racines qui impactent l'SOTD sous-traitant	90
Tableau 4.4 Matrice CR / délais et variables impactés	94
Tableau 4.5 Exemple du tableau pour paramétrer la variable "Cycle Fournisseur"	96
Tableau 5.1 Récapitulative des leviers d'améliorations issues de la littérature	116
Tableau 5.2 Echelle d'évaluation pour la fréquence d'apparition et moyenne d'impact de pour les CRs.....	118
Tableau 5.3 Echelle de priorités pour les CRs	119
Tableau 5.4 Critères d'évaluations des leviers d'amélioration.....	120
Tableau 5.5 Echelle de priorités pour les critères	121

Tableau 5.6 Exemple de l’outil de l'aide à la décision pour choisir les leviers à implémenter 126

Liste des abréviations

- ABS** : Agent Based Simulation
- AFNOR : Association Française de Normalisation
- AP: Activités-Processus
- APICS: Association for Operations Management
- ARG: Argonay
- AT: attentes (valeurs attendues)
- BASS**: Istres
- BPR: Business Process Reengineering
- BSZ: Biarritz
- CA** : Chiffre d’Affaire
- CDV : Chaîne de Valeur
- CNI : Conseil National de l’Industrie
- CO₂ : Dioxyde de Carbone
- CdV : Cycle de Vie
- CR : Cause Racine
- DA** : Dassault Aviation
- DE : Dossier d’Echange
- DES : Discret Event Simulation (Simulation à évènement discrètes)
- DGIA : Direction General Industriel et Achats
- DMAIC: Define, Measure, Analyze, Improve and Control
- DMADV: Define, Measure, Analyze, Design, and Verify
- DOI : Directions des Opérations
- DS : Dynamique des systèmes
- ERP** : Entreprise Ressource Planning (base de données de l’entreprise)
- GIFAS** : Groupement des Industries Françaises Aéronautiques et Spatiales
- I** : indicateur
- IM : Inventory Management (Gestion du stock)
- IT : Information Technology
- LT** : Lead time (délais)
- MAS**: Martignas
- MCS : Monte Carlo Simulation
- MDM : Multiple Domain Matrix

MES: Méridonac

MRP : Material Requirements Planning

NO_x : Oxyde d'azote

OA : Ordre d'Achat

PE : Performance Economique

PC : Performance Commerciale

PDP : Plan de Production

PGP : Plan Général de Production

PIC : Plan Industriel et Commercial

PME : Petites et Moyennes Entreprises

PO : Performance Opérationnelle

PP : Parties prenantes

QFD: Quality Function Deployment

QR : Question de Recherche

R : ressources

RH : Ressources Humaines

RM : Risk Management (Gestion des risques)

RO : Recherche Opérationnelle

ROI : Return On Investment

R&D : Recherche et Développement

R&T : Recherche et Technologie

SADT: Structured Analysis and Design Technique

SI : Système d'Information

SC: Supply Chain

SC-STP: Supply Chain (Sous-Traitance de Production)

SCM : Supply Chain Management

SCN: Seclin

SCOR: Supply Chain Operation Reference

SCOS': Systemics for Complex Organizational Systems (famille de méthodes)

SCOS'M: Systemic for Complex Organizational Systems Modeling

SD: Standard Deviation (écart-type)

SysML: Systems Modeling Language

SOTD: Supplier On Time Delivery (livraison à temps fournisseur)

StC: Saint Cloud

SST: Sous-Traitance

STP-SC : Sous-traitance de la Production d'une Supply Chain

S&OP: Sales & Operations Planning

TQM: Total Quality Management

TOC: Theory of Constraints

UML: Unified Modeling Language

VA: Valeur Ajoutée (Value-Added)

Introduction générale

Cette thèse présentée ci-dessous s'intéresse à la « Contribution à l'amélioration de la Performance Supply Chain dans un contexte d'Ingénierie Systèmes : cas de la sous-traitance aéronautique », sachant que la performance est un élément clé pour le pilotage d'un système. A partir du contexte, nous nous focaliserons sur la Performance de la Sous-Traitance (SST) pour laquelle nos modèles contribuent à son amélioration.

Dans le cadre de ces travaux de recherche, nous avons bénéficié d'une collaboration avec un groupe français aéronautique, Dassault Aviation, qui nous a permis de mener notre recherche au sein d'un environnement industriel réel. Dans le **chapitre 1**, nous allons **présenter cette entreprise ainsi que ses principaux produits et ses principales activités**, pour ensuite préciser les objectifs industriels attendus de notre travail de thèse.

Le **chapitre 2** précisera notre **positionnement académique** qui permettra de contribuer aux attentes industrielles exprimées. Egalement, nous présenterons un état de l'art sur les travaux existants concernant la conception et l'amélioration de processus.

Le **chapitre 3** présentera **une modélisation systémique** de la Supply Chain de l'entreprise afin de considérer sa performance dans sa globalité, et ce en partant des objectifs stratégiques (en terme d'indicateurs globaux) jusqu'à la re-conception des processus créateurs de valeurs internes. Cette modélisation permet d'identifier le sous-système à étudier, les acteurs concernés et leurs attentes, attentes traduites par des indicateurs de performances, qui sont eux-mêmes mesurés à travers les processus internes. Nous identifierons donc des indicateurs à prioriser et à améliorer en consensus avec les experts industriels.

Le **chapitre 4** décrira comment traiter **l'indicateur priorisé**, comme la livraison à temps des fournisseurs « SOTD : (Supplier On Time Delivery) ». Dans un premier temps, nous analysons la mesure de cet indicateur, les variables et les paramètres qui interagissent pour son calcul et nous approfondissons l'étude en se concentrant sur les dysfonctionnements destructeurs de valeurs qui empêchent d'atteindre les objectifs stratégiques fixés. Après cette phase d'analyse, nous proposons une simulation des impacts des dysfonctionnements sur les

indicateurs, puis nous menons des analyses de sensibilité sur les variables identifiées afin de quantifier leurs impacts et leurs évolutions.

A partir de l'analyse précédente des dysfonctionnements, nous proposons dans le **chapitre 5 une méthodologie d'établissement de plan d'actions**, actions d'amélioration à appliquer dans le périmètre étudié permettant la réduction de la destruction de valeur globale identifiée dans les chapitres précédents.

Des **conclusions et les limites de notre approche** sont discutées dans le **chapitre 6**. Des perspectives de recherche sur la re-conception et l'amélioration des systèmes d'approvisionnement sont proposées.

Chapitre 1 Contexte

L'industrie aéronautique française est entrée depuis quelques années dans un cycle de croissance forte, portée par le développement continu du transport aérien. Elle s'est imposée comme un leader mondial et l'un des piliers de l'économie française.

Ce chapitre part du contexte général de la filière aéronautique, des principales caractéristiques du secteur pour arriver à l'expression de sa chaîne de valeur, chaîne de valeur qui démontre tout l'intérêt de s'intéresser à la problématique de performance de la Supply Chain des fournisseurs. Ce contexte général est particularisé avec l'entreprise Dassault Aviation qui a constitué l'environnement de la recherche.

1.1 Les enjeux de l'aéronautique

L'aéronautique représente le premier secteur exportateur de l'économie française en générant un excédent de la balance commerciale de 23 milliards d'euros. Il contribue ainsi au rayonnement européen et mondial de la France dont **la valeur ajoutée de la filière est de 14 milliards d'euros soit 0.7% du PIB** (Herteman 2013).

La filière aéronautique se développe grâce à **un marché à forte demande et en progression constante** (voir figure 1.1). La production des appareils commerciaux s'est envolée de 218 % entre 1981 et 2014, ou encore sur une moyenne mobile de sept ans, elle a crû de 86,7 % depuis 1994.

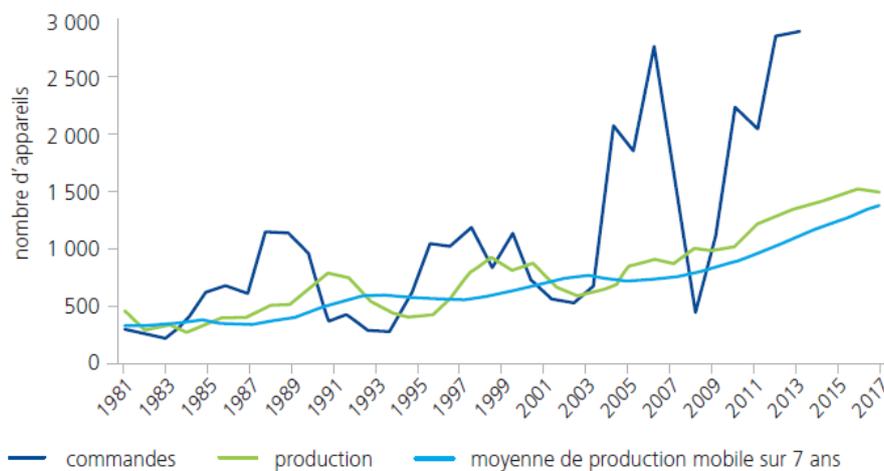


Figure 1.1 Historique et prévisions de commandes et de production des avions (1981-2018) (Deloitte 2015)

Ces tendances sont liées à différents enjeux de type économiques, technologiques et sociaux (CQPM 2014):

- Pour les **enjeux économiques**, il y a plusieurs macro-tendances propres au secteur aéronautique : « *des prévisions de +4,5 % d'augmentation annuelle du trafic aérien à l'horizon 2025, ainsi qu'un positionnement stratégique dans le marché civil et une réduction du nombre de sous-traitants de rang 1* ».
- Pour les **enjeux technologiques**, il y a une course à la technologie du fait du développement de nombreuses innovations : « *il faut développer l'écoconception et prendre en compte le cycle de vie du produit et également réduire la consommation d'énergie et, pour cela, développer de nouveaux matériaux composites* ».

Ces évolutions technologiques nécessitent dans l'organisation de la filière :

- Une plus forte intégration verticale, avec une **collaboration plus étroite entre donneurs d'ordres et sous-traitants** sur la conception et les méthodes.
- **Un recours accru à la sous-traitance par les donneurs d'ordres.**
- **Une innovation organisationnelle des sous-traitants.**
- Pour les **enjeux sociaux**, l'aéronautique est un secteur caractérisé par de nombreuses externalisations en s'appuyant sur le transfert de production et de technologies à l'étranger.

Dans ce contexte de croissance, d'évolution technologique et de réorganisation industriel, sur un marché mondial, il est impératif pour les entreprises de sans cesse augmenter leur performance technico-économique afin de se maintenir et de se développer dans ce contexte de forte compétitivité.

Du fait de la spécificité de la construction aéronautique (faible cadence avec un très haut niveau de sûreté), on se doit d'analyser le rôle particulier de la **Chaîne de Valeur (CDV) de la filière aéronautique** ; avec ici un focus particulier sur la France (du fait du contexte de ce travail effectué au sein de l'entreprise Dassault Aviation).

Pour traiter l'amélioration de performance, il faut commencer par expliciter et comprendre la chaîne de valeur d'un avion.

1.2 La Chaîne de Valeur (CDV) aéronautique

Dans la filière aéronautique, **70 à 80% de la valeur ajoutée est aujourd'hui produite par les sous-traitants**. Comme nous pouvons le constater (voir figure 1.2), une forte évolution du modèle organisationnel est en marche chez les donneurs d'ordres. Auparavant, une quasi-totalité des pièces et des sous-ensembles étaient réalisés chez les donneurs d'ordres (du développement jusqu'à la distribution de l'avion), alors que maintenant, une très grande partie est externalisée et seuls l'assemblage final et la conception sont encore entièrement réalisés chez les donneurs d'ordres.

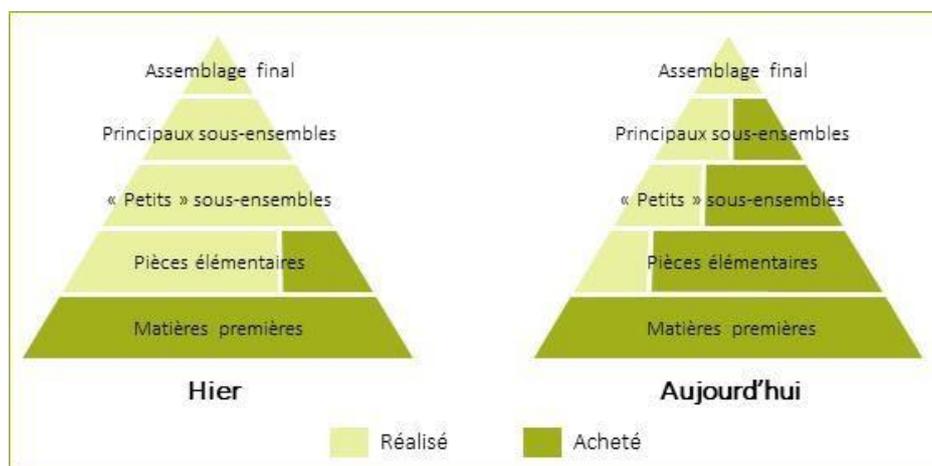


Figure 1.2 Evolution du modèle organisationnel entre Airbus et ses sous-traitants (Airbus Group 2012)

Pour passer de la matière première à un avion assemblé, on trouve généralement 4 à 5 niveaux de sous-traitance (voir figure 1.3).

Dans le premier niveau, nous trouvons les donneurs d'ordres qui sont aussi appelés les architectes-intégrateurs puisque ce sont les constructeurs et concepteurs des avions. Ensuite, le niveau 2 correspond aux systémiers qui ont une relation directe avec les donneurs d'ordres. En effet, ce sont les concepteurs et fabricants des systèmes comme les moteurs, et les grands équipementiers. Dans le niveau 3, nous trouvons les sous-traitants (SST) rang 2 qui ont une relation directe avec les systémiers et qui produisent leurs modèles techniques. Le niveau 4 correspond aux sous-traitants (SST) rang 3, qui eux ont une relation directe avec le SST rang 2 ou le systémier ; ce sont des sous-traitants de spécialité qui fournissent beaucoup de pièces usinées qui ont besoin d'une transformation spécifique. Le dernier niveau correspond aux sous-traitants de capacité qui produisent des composants et pièces non usinés qui seront intégrés aux procédés des SST rang 3.

Niveau	Type de relation	Exemple d'activité	Exemple entreprise
Architecte-Intégrateur	Donneur d'ordres	Constructeur	Airbus, Boeing, Dassault Aviation, Embaer, Bombardier, ...
« Systémiers » de rang 1	Relation directe avec le donneur d'ordres	Motoristes et grands équipementiers (concepteurs et fabricants des systèmes)	Thales, Snecma, Latécoère, Liebherr Aerospace, ...
Sous-traitants de rang 2	Relation directe avec les systémiers	Équipementiers producteurs de modules techniques	Grosses PME/PMI ou ETI parfois multinationales qui produisent des gouvernes, volets, boîtes de réduction, systèmes d'armes et munitions, ...
Sous-traitants de rang 3	Relation directe avec le sous-traitant rang supérieur ou avec le systémier.	Sous-traitants de spécialité	PME/PMI de pièces de structure usinées, des tableaux de circuits électriques, certaines pompes et valves etc.
Sous-traitants de rang 4	Relation directe avec les sous-traitants rangs supérieurs ou avec le systémier.	Sous-traitants de capacité	PME/PMI de pièces coulées non usinées, arbres, rivets, composants électriques et électroniques

Figure 1.3 Structuration de la filière aéronautique (CNI 2013)

En France, les différentes entreprises appartenant à ces niveaux sont principalement réparties dans quatre régions (voir figure 1.4): nous trouvons 28% des emplois du secteur en Ile-de-France, 11% en Aquitaine, 28% en Midi-Pyrénées et 9% dans la région PACA.

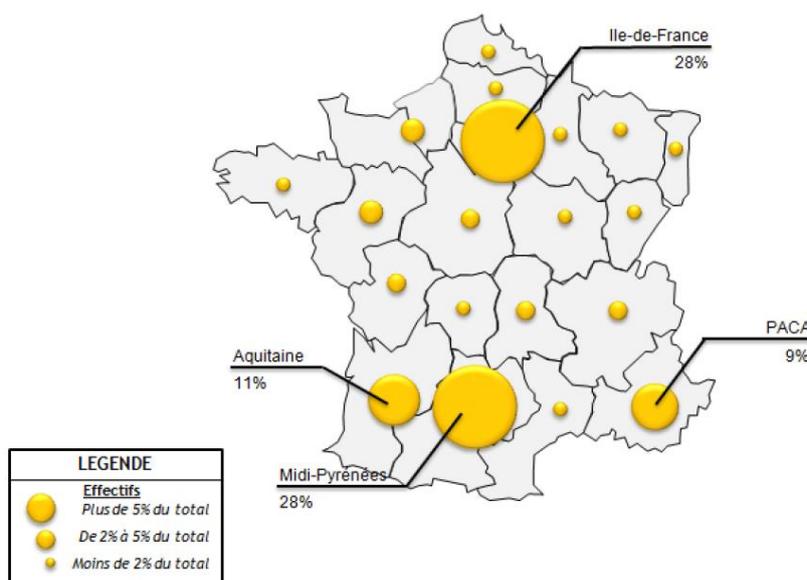


Figure 1.4 Répartition des emplois salariés et des entreprises du secteur aéronautique en France 2012 (GIFAS 2014)

Cette répartition est illustrée en fonction des effectifs liés aux activités de l'aéronautique (GIFAS 2014). Une certaine corrélation d'implantation régionale peut être mise en évidence avec l'implantation des principaux groupes industriels français dans ces régions : Airbus et Dassault Aviation.

Chaque entreprise apporte à la chaîne aéronautique globale une valeur sur les éléments architecturaux de l'avion (le produit) et ce tout au long de leur cycle de vie (le process). Afin

de maintenir et/ou d'augmenter ce niveau de valeur contribuant à la performance de la filière, un des principaux leviers consiste à **améliorer les processus et les organisations industrielles, objet de notre travail.**

1.2.1 La Valeur Ajoutée (VA) au produit

Comme précédemment constaté, chaque maillon de la CDV contribue à la réalisation d'une partie de l'avion. En général, **30 à 40% de la valeur ajoutée est concentrée dans trois zones stratégiques de l'avion** (PIPAME 2009). Ces trois zones sont celles en interaction avec d'autres structures ou systèmes :

1. **La pointe avant** : composée du train avant, du cockpit et de l'électronique.
2. **Le tronçon central**: zone de convergence des efforts ailes-carlingue, composée notamment de la baie hydraulique et du train.
3. **Les ailes** : contribuent aux performances essentielles de l'avion par la transmission des efforts, la poussée moteur, le freinage et sustentation, et sont également composées du train et de divers systèmes.

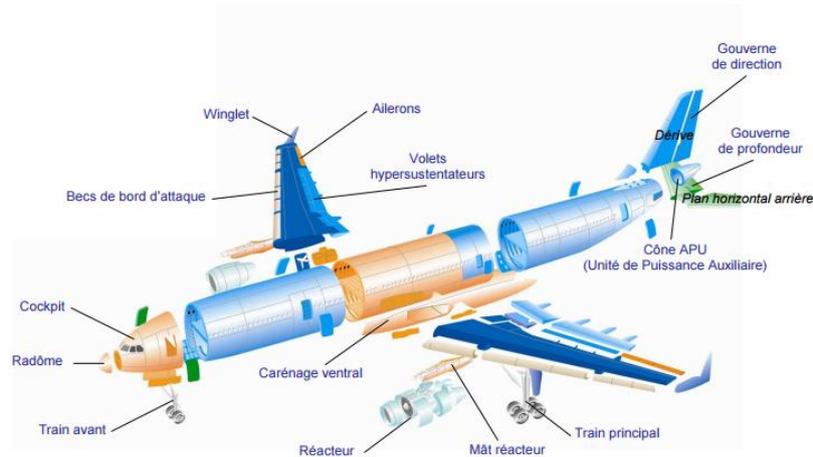


Figure 1.5 Structure d'un avion, exemple d'un Airbus (Airbus Group 2012)

La figure 1.5 illustre la structure d'un avion où ses différents composants s'intègrent pour réaliser la composition de la valeur apportée par chacun des contributeurs des diverses parties de l'avion.

Cet apport de valeur est réalisé aux travers des différentes phases de développement d'un avion, de son industrialisation jusqu'à la vente au client final.

1.2.2 La Valeur Ajoutée (VA) dans le Cycle de Vie (CdV) : le process

Le cycle de vie de l'avion se réalise à travers les différents processus (étapes) de transformation du produit. Nous allons étudier ces étapes pour approfondir notre périmètre d'étude (voir figure 1.6).

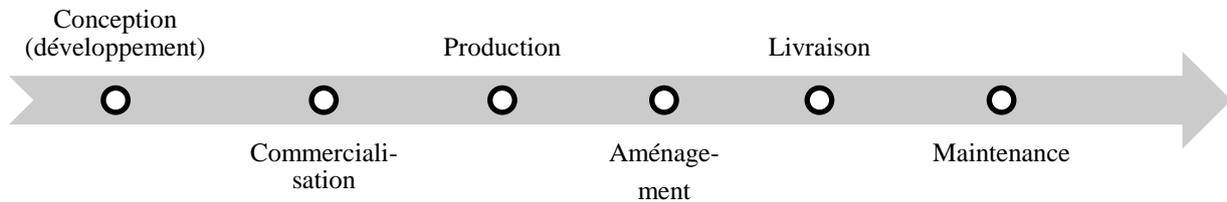


Figure 1.6 Le Cycle de Vie (CdV) d'un produit aéronautique (Adapté de (CQPM 2014))

La première étape de ce CdV est la conception (développement). Cette phase consiste en la création d'un nouvel engin, après apparition de nouvelles technologies ou non, suivie d'une série de vérifications et d'études conduisant à l'homologation d'un appareil et à sa mise en vol. Une fois l'avion conçu et testé auprès des organismes agréés, il est commercialisé auprès de clients (compagnies aériennes, armées et Etats). Ensuite, le processus de production se déclenche suite à la commande de flottes, et fait intervenir un grand nombre d'entreprises (sous-traitants) qui vont réaliser les différentes parties de l'avion ensuite assemblées par le constructeur (donneur d'ordres). L'aménagement de l'appareil, en fonction des exigences du client final, est également effectué à ce stade. Enfin, après livraison des avions, le processus de maintenance garantit le bon fonctionnement des appareils durant les années de service. La durée de vie de l'appareil est estimée entre 30 à 50 ans.

Le concept de performance est attaché à chacune des étapes. Pour la conception, on s'attarde à des performances de type techniques (moteurs, résistance matériaux, vibrations...); pour la production à des performances de processus (délais, qualité, coût,...); pour la maintenance à des performances liées aux conformités et aux défaillances prévisionnelles, mais aussi aux processus de réapprovisionnement.

La performance industrielle du donneur d'ordres résulte principalement de la performance de l'ensemble des processus du CV de son produit, ici l'avion. Or, la sous-traitance de production représente plus de 70% d'apport en valeur de l'avion. La performance du donneur d'ordres dépend donc de façon importante des processus des sous-traitants.

D'autre part, pour maîtriser les processus et ainsi améliorer leur performance globale, les experts du Conseil National de l'Industrie (CNI) ont constaté trois défis à relever: les compétences et la formation, la Recherche et Technologie (R&T), et le renforcement de la Supply Chain (SC) (CNI 2013).

Il est donc essentiel pour le donneur d'ordres de maîtriser avec ses sous-traitants les processus de sa Supply Chain, dont le périmètre sera ultérieurement défini.

En ce sens, un **Programme National d'Amélioration de la Performance Supply Chain** a notamment été lancé par le Groupement des Industries Françaises Aéronautiques et Spatiales (GIFAS) : « *Performances industrielles* » (GIFAS 2013) . Ce programme a pour objectifs de:

- **Accroître la performance concernant les livraisons au sein de la Supply Chain,**
- **Améliorer la relation donneur d'ordres/fournisseur,**
- Renforcer la compétitivité des entreprises tout en améliorant les conditions de travail,
- Développer et capitaliser les emplois dans la filière.

Il doit permettre aux fournisseurs rang 1 et 2 de la filière de mieux gérer et organiser leur production afin d'augmenter le taux moyen de livraisons à l'heure.

Ce programme vient confirmer l'importance des processus SC de sous-traitance de la production dans la filière aéronautique.

Nous nous intéressons ainsi dans cette thèse à contribuer à l'amélioration de la performance des processus SC impliquant donneur d'ordres/sous-traitants, afin notamment d'accroître le taux de livraisons à l'heure. Cette étude sera spécifiquement réalisée chez notre partenaire industriel.

Commençons par étudier la CDV de cette entreprise et son impact dans la performance.

1.2.3 La Chaîne de Valeur (CDV) de notre cas d'étude : Dassault Aviation

Le groupe Dassault Aviation nous a permis de mener notre recherche académique au sein de la Direction Generale Industriel et Achats (DGIA) sous la responsabilité de la Direction des Opérations (DOI).

Dassault Aviation est un groupe international qui est structuré par des filiales de production (en France) et de services (dans différents pays : USA, Chine, Brésil, ...). Il participe aux

opérations du CV depuis la conception jusqu'à la livraison des avions à travers ses programmes d'avions (voir figure 1.7).

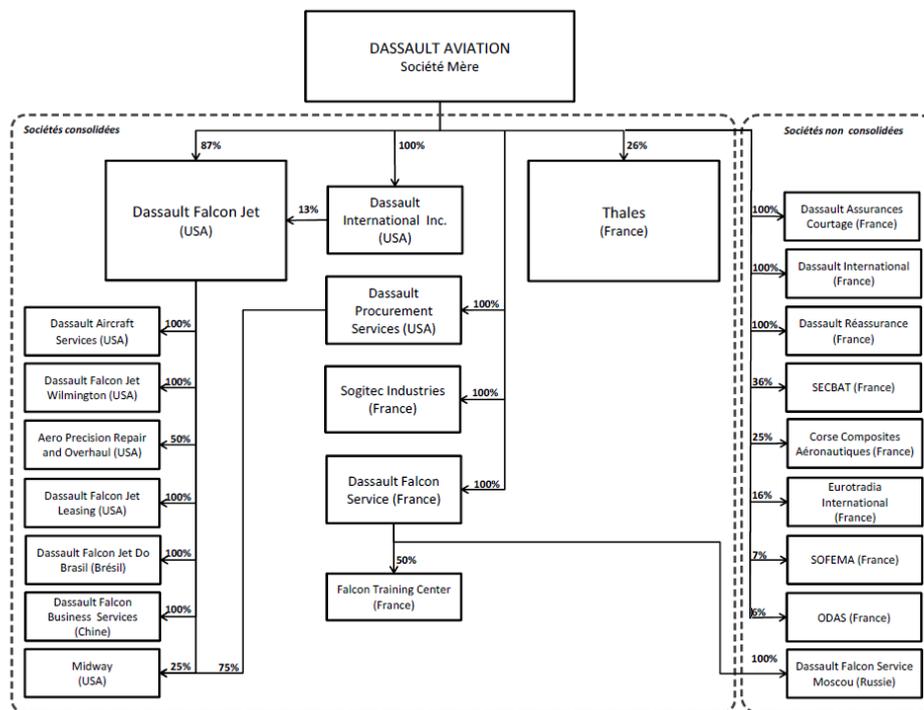


Figure 1.7 Schéma de la structure du Groupe Dassault Aviation (Dassault Aviation 2014a)

Parmi les caractéristiques importantes de ce groupe et de sa CDV, un premier élément à retenir est le chiffre représentant les **prises de commandes consolidées**. En 2014, il est de **4 639 millions d'euros** contre 4 165 millions d'euros en 2013. La part des prises de commandes à l'**export** est de **89%**. Leur évolution en millions d'euros est la suivante (voir figure 1.8).

Année	Défense		Falcon	Total	% Export
	France	Export			
2010	606	186	474	1 266	43%
2011	424	507	1 932	2 863	83%
2012	634	159	2 532	3 325	78%
2013	1 043	213	2 909	4 165	71%
2014	441	252	3 946	4 639	89%

Figure 1.8 Evolution de commandes consolidées du groupe Dassault Aviation en millions d'euros (Dassault Aviation 2014a)

Ces commandes sont principalement constituées par deux programmes d'avions (les produits) : les **programmes Falcon** et les **programmes de Défense**. Les commandes du programme Falcon (avions neufs d'affaires) atteint **90 Falcons** en 2014 (contre 64 en 2013).

Les prises de commandes Défense s'élèvent à **693 millions d'euros** en 2014 contre 1 256 millions d'euros en 2013.

Un deuxième élément à retenir est le **Chiffre d'Affaire (CA) consolidé 2014 du groupe** qui est de **3 680 millions d'euros** contre 4 593 millions d'euros en 2013. L'évolution du CA consolidé (voir figure 1.9) est la suivante (en millions euros) :

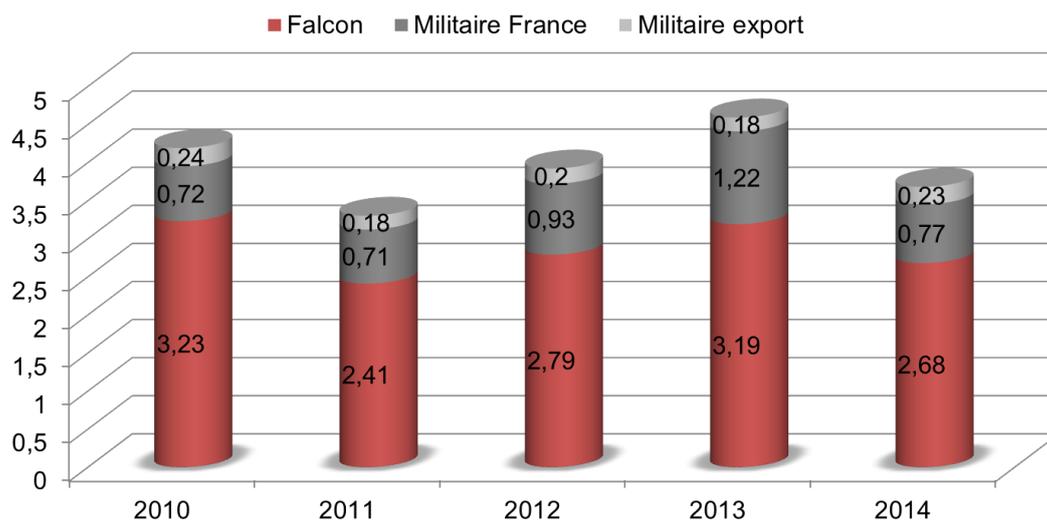


Figure 1.9 Evolution du Chiffre d'Affaire consolidé du groupe en million d'euros (Dassault Aviation 2014a)

Le détail consolidé par programme est : de **2 685 millions d'euros** pour le **CA Falcon** en 2014, contre 3 189 millions d'euros en 2013, soit un 72% du CA total en 2014; et, **995 millions d'euros** pour le **CA Défense** en 2014 contre 1 404 millions d'euros en 2013, qui représente un 27% du CA total.

Le CA est réalisé à travers ses programmes avions, que Dassault conçoit, produit et vend. Pour cela, en plus de la réalisation et de la vente, il existe une organisation industrielle basée sur ses programmes (Falcon et Défense) tout au long de la CDV Dassault Aviation.

1.2.3.1 La CDV Dassault Aviation : la Valeur Ajoutée (VA) des produits

Les produits développés par DA sont divisés en deux programmes : civil et militaires. Au sein de chaque programme **la valeur ajoutée globale est répartie classiquement dans les trois zones stratégiques de l'avion** présentées dans la section 1.2.1. : **la pointe avant, le tronçon central, et les ailes.**

Le programme militaire englobe le « Rafale » et le programme civil la gamme d'avions « Falcons ».

Tous ces différents programmes d'avions sont conçus, développés et industrialisés dans différents sites de production de Dassault Aviation. Nous allons voir les activités générales que chaque site de production réalise pour la fabrication et l'aménagement de ces avions.

1.2.3.2 La CDV Dassault Aviation : la Valeur Ajoutée (VA) des processus

La chaîne de valeur du groupe Dassault Aviation est divisée géographiquement en sites de production selon la valeur ajoutée réalisée. Leur localisation est majoritaire en France, où la plupart de ces sites réalisent la conception et le développement des avions, mais aussi la fabrication de chaque élément qui compose l'avion jusqu'aux tests et contrôles techniques avant livraison au client (voir figure 1.10).

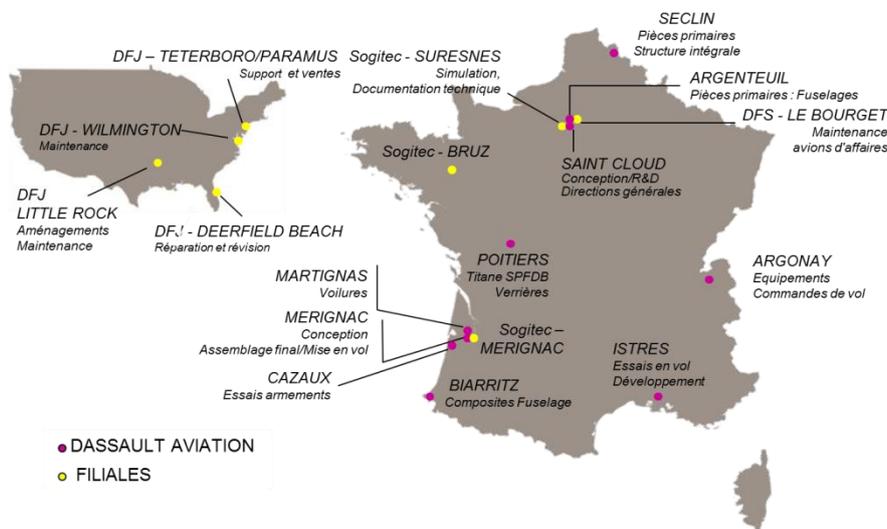


Figure 1.10 Localisation géographique des sites de production du Groupe Dassault Aviation (Dassault Aviation 2014a)

Le siège du groupe, le bureau d'études, les services commerciaux et après-vente et toutes les directions fonctionnelles centralisées sont situées sur le site de Saint-Cloud (StC) en Ile-de-France. Les pièces primaires sont fabriquées dans le site de Seclin (SCN), dans le Nord Pas-de-Calais. En Provence-Alpes, les essais en vol sont réalisés sur le site de la Côte d'Azur (BASS), et en Rhône d'Alpes, le site d'Argonay (Dassault Equipements) réalise les commandes de vol. Trois sites se situent en Aquitaine: à Biarritz (BSZ) se trouvent les dérivés en composites et l'assemblage des tronçons de fuselage ; à Martignas (MAS), on fabrique les voilures et finalement, à Mérignac, se fait l'assemblage final, l'aménagement commercial et les vols de réception.

Ces sites sont répartis selon l'enchaînement du processus de fabrication de l'avion (voir figure 1.11).

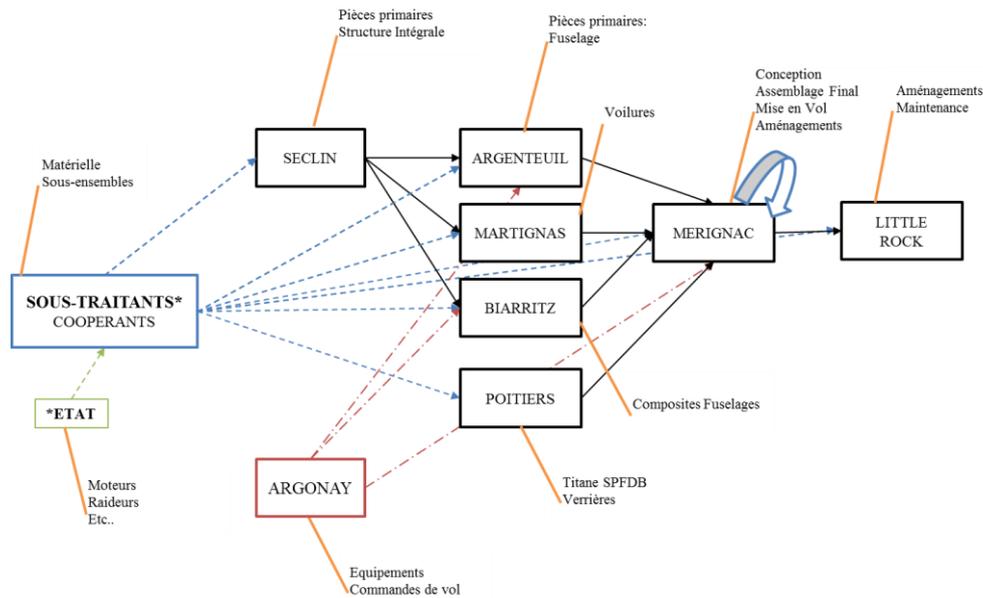


Figure 1.11 Représentation des flux de processus SC au sein de la CDV Dassault Aviation (Dassault Aviation 2015)

Cet enchaînement d'activités représentées par différents flux (physiques, matériels, ...) de processus (conception, approvisionnement, production, assemblage final, ...) fait appel à la définition de la Supply Chain. Commençons par étudier cette notion et son importance au sein d'une CDV.

1.3 La Supply Chain (SC) dans la filière aéronautique

Nous allons aborder les différentes définitions de la Supply Chain (SC) dans la filière aéronautique et sa relation avec la CDV évoquée précédemment.

1.3.1 Définition de la Supply Chain (SC)

Le terme **Supply Chain (SC)** vient de l'anglais qui signifie littéralement « chaîne d'approvisionnement ». Dans la littérature, on peut en trouver différentes définitions : pour (Beamon 1998), la SC est définie comme étant les **flux** de biens et de services allant du processus de production jusqu'à la livraison du client final ; (Handfield & Nichols 1999) définissent la SC comme toutes les **activités** associées à ces flux et à la **transformation des produits** depuis l'étape de matières premières (extraction) jusqu'à l'utilisateur final, en passant par toutes les activités intermédiaires. A ces activités sont également associés les flux d'information. Les **flux matériels et d'information en amont et en aval de la chaîne d'approvisionnement y sont également intégrés.**

(Chopra & Meindl 2001) caractérisent la SC comme l'ensemble des **activités** impactant directement ou indirectement la réalisation de la commande client. La chaîne logistique

n'inclut pas uniquement les **producteurs** et **fournisseurs** mais également les **transporteurs, les entrepôts, les détaillants, et les clients** eux-mêmes.

Pour (Mentzer 2001), la SC est un groupe d'au moins trois **entités** directement impliquées dans les flux amonts et aval de produits, de services, financiers et/ou d'information, qui vont d'une source jusqu'au client.

(Stadler et al. 2003) décrit la SC comme étant composée de quatre parties: **l'approvisionnement, la production, la distribution et la vente.**

Quant à lui, (Babai 2005) considère la chaîne logistique comme une **succession d'activités d'approvisionnement, de fabrication et de distribution** traversées par divers flux classés en trois types : les **flux physiques, les flux d'informations et les flux financiers**. Enfin, (Féniès 2006) présente la SC comme un **système complexe**, décrit par :

- Un ensemble ouvert traversé par des **flux financiers, matériels et informationnels**
- Un réseau composé **d'entités physiques** (usines, ateliers, entrepôts, distributeurs, grossistes, détaillants) et d'organisations autonomes (firmes, filiales, business units, ...)
- Un ensemble **d'activités regroupées** dans un processus logistique dont l'agencement constitue une chaîne de valeur intra et inter organisationnelle

Ces définitions peuvent se catégoriser suivant le point de vue que l'on souhaite traiter :

- Succession de relations Client/Fournisseur (Tayur et al. 1999).
- **Succession d'activités de création de valeur** (La Londe & Masters 1994).
- **Fonctions ou processus** : approvisionnement, transformation, distribution, vente (Lee & Billington 1993).

Egalement, nous pouvons considérer **ces activités de la Supply Chain en terme de prise de décision selon les 3 niveaux** suivants (Dallery 2000) :

- **stratégique** : définition du cadre dans lequel les activités vont se réaliser.
- **tactique** : pilotage, supervision de l'ensemble des activités.
- **opérationnel** : réalisation des activités.

Dans ce travail, nous allons considérer l'aspect processus (ou fonctions) de la Supply Chain créateur de valeurs à travers ses diverses activités, traversées par différents flux (d'information, physiques, financiers,...), et exécutées selon trois niveaux de décision.

Pour connaître ces diverses activités de la SC, nous allons approfondir les processus qui la réalisent.

1.3.2 Les Processus Supply Chain

Un processus est vu comme une succession d'activités qui transforme des éléments d'entrée en éléments de sortie en apportant une valeur ajoutée (VA) (Lorino 2001).

Les activités du processus Supply Chain sont définies de manière relativement homogène dans la littérature. (Stadler 2005) considère que les processus dans la SC sont constitués de 4 grandes familles d'activités génériques (voir figure 1.12) :

- i. Approvisionner en matières et services ;
- ii. Fabriquer des produits et services ;
- iii. Distribuer les produits et services ;
- iv. Vendre les produits et services

Chaque famille représente un processus différent et autonome, en lien avec le suivant. Etant donné l'enchaînement des processus, chacun d'entre eux apporte une VA au processus suivant.



Figure 1.12 Représentation des processus SC (Stadler et al. 2003)

Dans le secteur aéronautique, inspiré du secteur automobile, la Supply Chain est également basée sur l'approche processus ou fonctions (voir figure 1.13), dans laquelle nous retrouvons les quatre grandes familles de processus (approvisionnement, production, distribution et ventes).

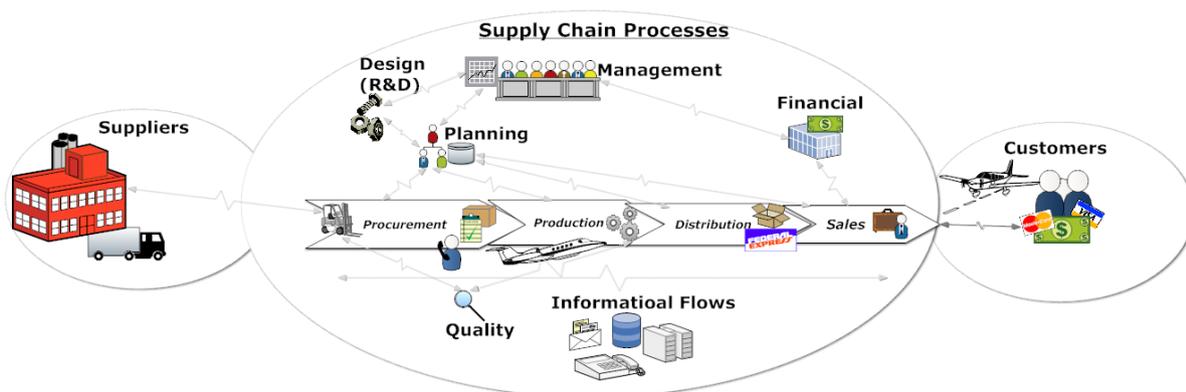


Figure 1.13 Représentation d'une SC aéronautique (Adapté de (Stadler et al. 2003; Handfield & Nichols 1999))

Pour les donneurs d'ordres, la chaîne est étendue depuis les fournisseurs jusqu'à la livraison des avions aux clients, en considérant également les processus support et le management de la SC (R&D, Finances, Qualité, Management,..).

D'après la CDV (section 1.2), le « donneur d'ordres » doit assurer l'efficacité et l'efficience de chacun de ses processus SC. La plupart de donneurs d'ordres réalisent la conception des avions en assurant une certaine collaboration avec les sous-traitants de niveau 1 de la CDV en fonction des programmes à développer. Pour commencer, nous nous intéressons au processus amont dans lequel les sous-traitants sont impliqués, le processus achat.

Nous allons donc approfondir le processus achat (incluant la sous-traitance), car il constitue souvent le plus important levier de création de valeur d'une entreprise (Le Moigne 2013).

1.3.2.1 Le processus achat

Les achats couvrent un nombre important d'activités. Pour s'en convaincre, il suffit de rappeler les nombreux termes utilisés pour couvrir ces activités, que ce soit en anglais (purchasing, procurement, buying, sourcing, global sourcing, strategic sourcing, supply management, purchase to pay) ou en français (achat, approvisionnement) (Le Moigne 2013). Ces différentes activités sont généralement regroupées en deux processus : la gestion des achats et la gestion des approvisionnements.

Les achats sont constitués par diverses **activités d'achat en amont et aval**, ainsi qu'un côté direct de **management des fournisseurs**. Les achats en amont réalisent l'expression des besoins, l'analyse du marché et la définition de la stratégie d'achat. Tandis que les achats en aval, effectuent la consultation, la négociation et la contractualisation des fournisseurs. En ce qui concerne le management des fournisseurs, il doit assurer le suivi, la livraison et le paiement des fournisseurs engagés (voir figure 1.14).

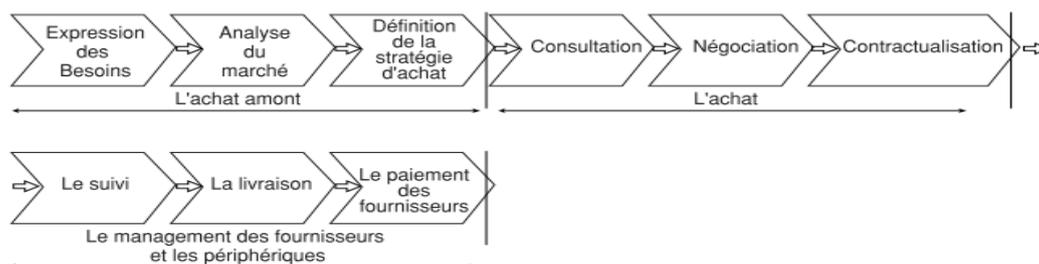


Figure 1.14 Représentation d'un processus d'achat (Perrotin et al. 2007)

Selon la finalité attendue, nous pouvons parler de nature d'achats, de classification comptable, de classification marketing, ou de segmentation marché, etc. pour classer les achats.

L'ensemble aboutit à des **familles d'achats** dont les paramètres qui les définissent sont très nombreux : le marché des fournisseurs, l'enjeu politique, **les risques d'approvisionnement**, **des enjeux techniques**, **l'enjeu financier**, les secteurs géographiques, **les enjeux de production**, les achats d'investissement, **les achats de production**, les achats hors production, les achats de fonctionnement, les achats répétitifs ou ponctuels, etc.

	Familles	Exemples de quelques segments
1	Frais généraux	Voyages – reprographie Fournitures de bureau Prestations informatiques
2	Consommables	Petites fournitures industrielles Outillage Lubrifiants
3	Fournitures industrielles et équipements	Fournitures de tuyauterie Pompes, vannes et robinetterie industrielle Chariots élévateurs
4	Prestations de services industrielles	Sous-traitance électrique Mécanique et chaudronnerie Prestations bâtiment et génie civil Traitement des déchets
5	Énergie	Électricité – Gaz naturel
6	Matières premières	Quartz – Calcaire Étain – Fer blanc
7	Transports	Transport routier Transport maritime
8	Sous-traitance de fabrication	Sous-traitance de capacité Sous-traitance de compétences

Figure 1.15 Famille des achats et exemples de segments d'achat (Perrotin et al. 2007)

Dans cette classification, **nous retrouvons la sous-traitance de fabrication qui représente plus de 70% d'apport en valeur de l'avion dans le cas de l'aéronautique**. Cette valeur montre l'intérêt d'approfondir le processus de sous-traitance. Nous allons étudier en détails sa définition et tous les éléments qui intègrent ce sous-processus de sous-traitance.

1.3.2.2 La Sous-Traitance aéronautique

La sous-traitance en aéronautique est définie par l'Association Française de Normalisation (AFNOR) comme: *«l'opération par laquelle un entrepreneur confie par un sous-traité, et sous sa responsabilité, à une autre personne appelée sous-traitant, tout ou partie de l'exécution du contrat d'entreprise ou du marché public conclu avec le maître de l'ouvrage »* (AFNOR n.d.).

Egalement, « *La sous-traitance industrielle consiste, pour une entreprise dite « **donneur d'ordres** », à confier la **réalisation** à une entreprise, dite « **sous-traitant** » (ou « preneur d'ordres »), d'une ou de plusieurs **opérations** de conception, d'élaboration, de fabrication, de mise en œuvre ou de maintenance du produit. Ces opérations concernent un **cycle de production déterminé**. Le sous-traitant est tenu de se conformer exactement aux directives ou **spécifications techniques** (ou encore « cahier des charges ») que le donneur d'ordres arrête en dernier ressort. (INSEE n.d.)*

Dans ces deux définitions, **la sous-traitance est perçue comme une opération où le donneur d'ordres confie une ou plusieurs opérations (ou processus de sa CDV) en respectant un cycle de production déterminé ainsi que les spécifications techniques données par le donneur d'ordres.**

L'organisation de la sous-traitance est par niveaux ou « rangs » (« tier » en anglais) inspirée de l'industrie automobile (IESF 2014). Il n'existe plus d'organisation dite « naturelle » dans laquelle le donneur d'ordres était en prise direct avec ses sous-traitants. Dans cette **organisation par niveaux**, s'instaure une hiérarchisation des sous-traitants (1er, 2e, 3e rang, ...), comme déjà évoqué dans les figures 1.2 et 1.3 (section 1.2). Egalement, cette organisation est **catégorisée par flux**, répondant à une logique de « flux à valeurs ajoutées » et de « réduction du nombre de sous-traitants de 1er rang » dans le cadre d'« un projet commun entre la grande entreprise et ses sous-traitants » (voir figure 1.16) (CESR 2007).

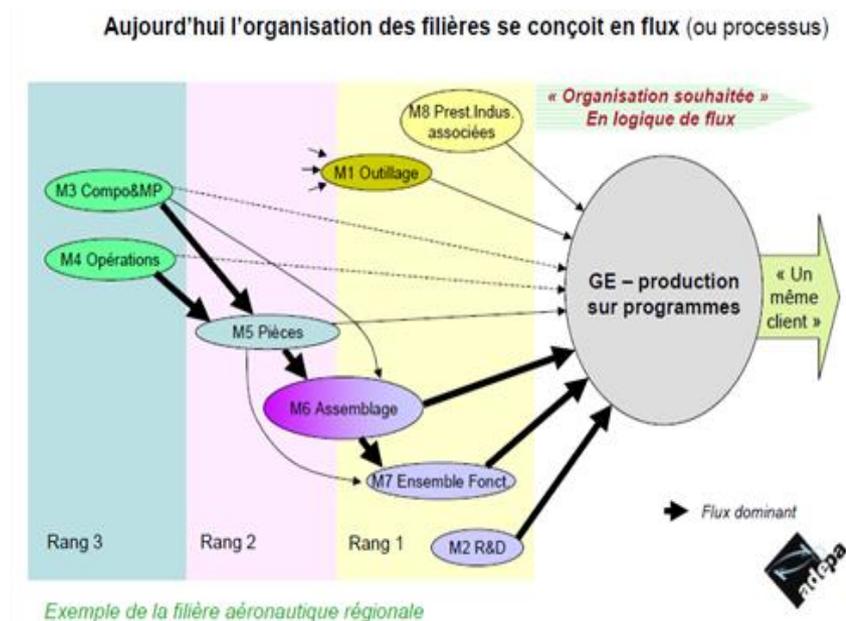


Figure 1.16 Organisation de la sous-traitance par niveaux (CESR 2007)

Actuellement, **l'ensemble des sous-traitants et équipementiers de l'aéronautique qui est à l'origine de 70 à 80% de la valeur ajoutée** du secteur (comme mentionné précédemment), et est constitué de 10 000 à 20 000 entreprises.

1.3.3 La Supply Chain (SC) Dassault Aviation

Après un état de l'art général sur les définitions de la SC, dans le cadre de notre étude, nous allons également considérer la définition utilisée en interne de l'entreprise Dassault Aviation. Pour la Direction Générale Industrielle et Achats (DGIA), la Supply Chain est définie comme: *«La fonction qui couvre l'expression des besoins prenant en compte les aspects "définitions et délais", c'est-à-dire "au bon produit, au bon moment, au bon endroit"»* (Dassault Aviation 2013). Cette SC est représentée à travers différents processus opérationnels (voir figure 1.7). **L'approche processus représente l'enchaînement des activités, elle assure la cohérence entre les sorties de l'une et les entrées de la suivante.** Ces activités sont à la fois décrites par des tâches à réaliser et sous la responsabilité des différents acteurs propriétaires du processus.



Figure 1.17 Représentation des processus SC au sein du Cycle de Vie d'un avion (Dassault Aviation 2013)

Comme nous l'avons précisé précédemment dans ce travail, **nous allons considérer l'aspect processus (ou fonctions) de la Supply Chain créateur de valeurs à travers ses diverses activités, traversées par différents flux (information, physique, financiers,...).**

Dans notre cas industriel, l'approche processus (voir figure 1.18) de la SC s'appuie sur 4 processus majeurs :

- deux processus opérationnels « **se procurer** » et « **réaliser** » ;
- un processus de management « **manager la qualité** » ;
- et un processus support « **gérer les données économiques et financières** ».

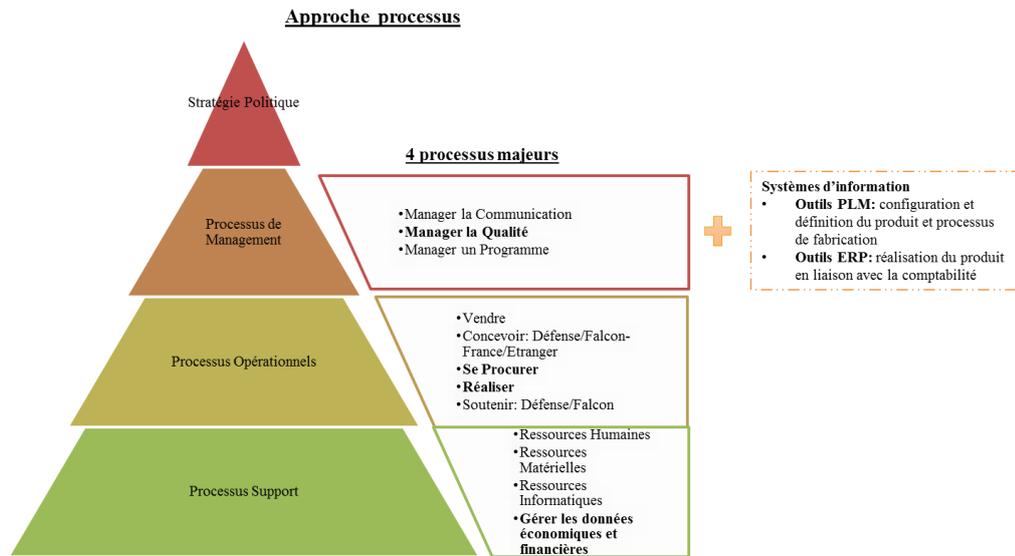


Figure 1.18 Définition de la Supply Chain Dassault Aviation (Dassault Aviation 2013)

Nous laissons volontairement de côté les autres processus pour ne garder que ceux centrés sur la Supply Chain, même si les autres processus sont fournisseurs de données pour ceux que nous avons retenus.

1.3.3.1 Les achats au sein de la SC Dassault Aviation : se procurer

Dans notre cas d'étude, nous considérons les définitions trouvées dans la littérature pour définir les achats. Particulièrement, « *les achats couvrent les aspects contractuels auprès du bon fournisseur, au bon prix avec les garanties contractuelles requises en prenant en compte l'expression du besoin* » (Dassault Aviation 2013). Les activités déclenchées au sein de ces processus, sont également prévues comme dans la section 1.3.2.1 (voir figure 1.14).

En pratique, ce processus est divisé en **3 segments d'achats pour notre industriel:**

- 1. Segment des équipements et systèmes:** nous trouvons ici des fournisseurs de calculateurs, pompes, atterrisseurs système avionique et système d'armes... Ils sont catégorisés à travers la Catégorie 1 (important) et Catégorie 2 (les autres).
- 2. Segment des matières premières et produits standards:** ici, nous trouvons les fournisseurs des tôles, ébauches, bielles, matériaux composites, fixations, peintures, élastomères,...
- 3. Segments d'aérostructures:** ce sont les fournisseurs type sous-traitance majeure ou locale de production de capacité, de spécialité et de coopération, et sous-traitance technique.

Cette division des achats nous permettra de **prioriser les segments à traiter** dans nos analyses que nous allons proposer dans la suite de cette thèse.

En ce qui concerne les engagements de commandes d'achat, ils se répartissent différemment selon le type de segment d'achat présenté précédemment. En **2014**, ils s'élèvent à environ **2,2 milliards d'euros**, dont près de 55% sont passés à des entreprises françaises et couvrent de nombreux segments de compétence :

- matières premières, moteurs, équipements et « complétion »: 70 % des achats.
- aérostructure (éléments de structure de l'avion) : 300 millions d'euros (250 fournisseurs).

En particulier, les achats hors aérostructure sont représentés par 1 200 fournisseurs suivis spécifiquement, car ils contribuent à 80% de la valeur d'achat. Les achats d'aérostructure sont représentés par 200 fournisseurs dont 50 qui sont suivis spécifiquement.

Cette répartition d'achats se segmente aussi en fonction de la gestion : 60% de ces fournisseurs sont directement gérés par les sites de production, 20% sont gérés directement en centrale (Saint Cloud) et les 20% restants sont gérés dans les sites de production locaux et de services.

Segmentation des nos fournisseurs	
Partenaires stratégiques	20%
Sous-traitants de production gérés localement	60%
Support Production	20%

Figure 1.19 Segmentation des fournisseurs de Dassault Aviation (Dassault Aviation 2014a)

Parmi cette segmentation, **les sous-traitants de production apportent une VA importante** au sein des achats, et pour cela, nous allons étudier spécifiquement cette segmentation pour comprendre sa VA au sein de la SC.

1.3.3.2 La sous-traitance (SST) de production au sein de Dassault Aviation

En pratique, elle est classifiée et segmentée en fonction du type de produit fabriqué (sous-traités), de la nature des enjeux des achats, et du suivi qualité. Les différentes catégories associées sont: partenaires stratégiques, sous-traitants de production et sous-traitants de support de production (voir figure 1.20).

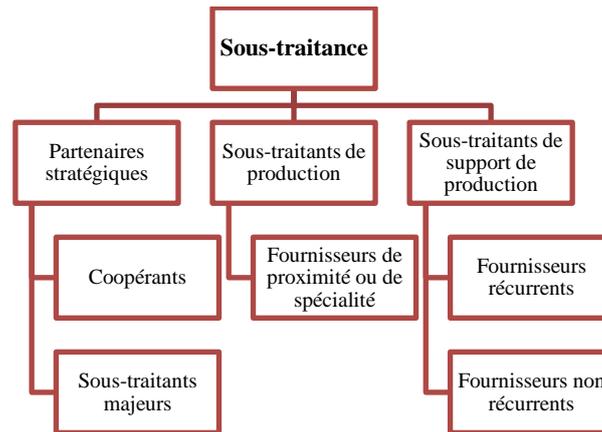


Figure 1.20 Classification de la sous-traitance au sein de Dassault Aviation (Dassault Aviation 2014b)

Partenaires stratégiques

Les partenaires stratégiques sont sélectionnés en fonction de leur maîtrise de sous-traitance complexe, comme par exemple pour des articles majeurs, et pour leur aptitude à développer des programmes de coopération, comme des études, certifications, etc. Typiquement, ils réalisent des ensembles, sous-ensembles ou pièces élémentaires dont les achats sont récurrents. Aussi, ils doivent répondre à certains critères et ils devront être consultés en priorité par rapport aux sous-traitants de production.

Ce type de partenariat présente différentes catégories de fournisseurs :

- Coopérants: ceux dont les compétences permettent de faire des activités de conception et de réalisation (build to specification).
- Sous-traitants majeurs : ceux dont les compétences permettent de faire des activités de réalisation (build to print).

Il existe aussi des fournisseurs qui sont à la fois coopérants et sous-traitants majeurs en fonction des projets confiés (programmes d'avions).

Sous-traitants de production

Les sous-traitants de production correspondent aux sous-traitants de proximité ou de spécialité et qui ne répondent pas aux critères des partenaires stratégiques. Ils sont pilotés par les sites de production et ils sont limités en nombre en accord avec la politique d'achat définie par Saint-Cloud (DOI/DAC). Ils ne réalisent que des articles récurrents comme : avionnables, interfaçables sur avion, pouvant influencer sur l'intégralité de l'avion et aussi avec de procédés spéciaux soumis à qualification.

Sous-traitants de support de production

Les sous-traitants de support de production réalisent des prestations non récurrentes (outillages, études, programmation,...) et récurrentes (sans influence sur l'avion). La plupart sont des sous-traitants français.

Egalement, ces fournisseurs sont identifiés par le type d'opération réalisée (voir tableau 1).

Type d'Opération :	Série	Rechange	Réparation	Délestage	Opération non récurrente	S/T sur place
--------------------	-------	----------	------------	-----------	--------------------------	---------------

Tableau 1.1 Détail des types des opérations réalisés par les sous-traitants (Dassault Aviation 2014b)

Aussi, ces sous-traitants appartiennent à un ou plusieurs domaines d'activité:

Domaine	Type d'activité
D1	Pièces mécaniques
D2	Pièces tôlerie
D3	Produits et prestations de complétion
D4	Etudes d'industrialisation
D5	Aménagement, équipements et essais
D6	Electricité
D7	Pièces en composites
D8	Ensembles
D9	Assemblages
D10	Tuyauteries
D11	Outillages
D12	Procédés spéciaux
D13	Produit pyrotechniques

Tableau 1.2 Récapitulatif de domaine d'activités des sous-traitants (Dassault Aviation 2014b)

Pour chaque type de classifications de sous-traitance existe un suivi spécifique en fonction du contrat de sous-traitance validé. Ce suivi est effectué principalement par les acheteurs et les responsables de processus de production correspondant (après l'achat). L'idée d'effectuer ce suivi est de mieux contrôler le processus de sous-traitance et de mesurer son **efficience** et son **efficacité**, en se basant sur divers critères quantitatifs et qualitatifs. Le contrôle de ce processus se fait donc au travers d'une évaluation des performances SC, développées ci-après.

1.4 La Performance d'une Supply Chain (SC)

La performance est une des motivations fondamentales de toutes entreprises. Auparavant formulée exclusivement à travers un point de vue financier (c'est-à-dire la rentabilité), la performance est aujourd'hui à multiples facettes. Ces différentes caractéristiques peuvent être traduites en fonction de la définition de performance considérée. Commençons par étudier la notion de performance d'une Supply Chain et les définitions existantes.

1.4.1 Notion de Performance

La notion de performance a déjà été étudiée dans différents travaux (voir ci-après). La diversité des définitions montre l'intérêt des chercheurs pour l'étude des « performances SC ». Dans le tableau 1.3, nous recensons quelques-unes des définitions développées dans la littérature :

Auteur	Définition de performance
(Sillanpää 2010)	L'objectif d'une performance dans la Supply Chain est de pouvoir être mesurée pour fournir aux managers et décideurs les informations nécessaires pour: <ul style="list-style-type: none"> • Comprendre la situation • Développer les meilleures stratégies et mesures qui améliorent l'activité
(Arda 2008)	La performance est une donnée quantifiée qui exprime l'efficacité et / ou l'efficience de tout ou une partie d'un système (réel ou simulé), par rapport à une norme, un plan déterminé et accepté dans le cadre d'une stratégie d'entreprise
(Lorino 2001)	Un indicateur de performance est associé à une « action à piloter » dont il doit révéler la pertinence opérationnelle
(Bitton 1990; Cohen & Roussel 2005)	Une performance est vue comme un élément de décision permettant, soit de contrôler les processus en vue d'atteindre les objectifs définis (logique de maîtrise), soit de modifier les objectifs eux-mêmes (logique de progrès)

Tableau 1.3 Récapitulatif des définitions de Performance trouvées dans la littérature (élaboration par l'auteur)

Après ce récapitulatif, et **en accord avec l'entreprise Dassault Aviation, nous retenons que la performance est une donnée quantifiée qui exprime l'efficacité et l'efficience d'un système réel ou simulé, permettant de servir comme élément de décision à travers la mesure quantitative pour contrôler ou modifier des processus que les managers souhaitent améliorer.**

Cette mesure de performance est exprimée par différents indicateurs selon le niveau décisionnel de l'activité évaluée du processus (voir figure 1.21). En effet, pour chacune d'entre elles, nous pouvons choisir des indicateurs stratégiques ou opérationnels, selon l'horizon d'analyse (court terme, moyen terme, long terme) considéré.

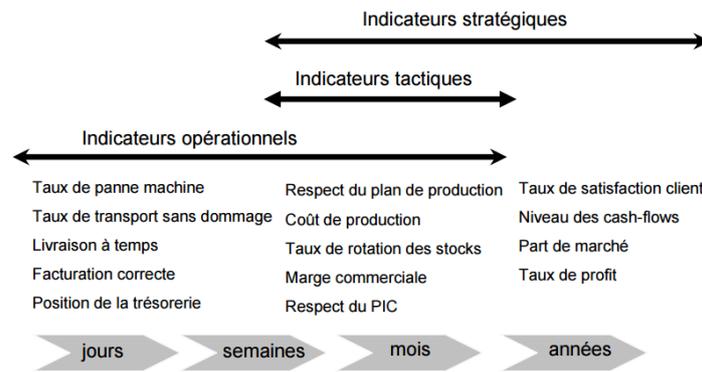


Figure 1.21 Exemple d'indicateurs par niveau décisionnel au sein de la SC (Amrani-Zouggar 2009)

Dans notre cas d'étude, nous allons étudier des indicateurs opérationnels utilisés au sein de la sous-traitance de production de la SC. Ces indicateurs mesurent des données quantifiées représentant les activités des processus qui s'enchainent pour créer la valeur ajoutée, et ainsi donnent l'état de la performance de cette activité.

Nous allons voir dans la section suivante les différentes performances mesurées dans notre cas d'étude.

1.4.2 La Performance SC au sein de DA

Pour notre cas d'étude (DA), la performance globale de la Supply Chain est déclinée en trois types de performance (voir figure 1.22):

- **Performance Economique (PE):** signifie « avoir une capacité d'autofinancement ».
- **Performance Opérationnelle (PO):** est déclinée comme la trilogie **coût, qualité et délai**, plus le coté **environnemental**.
- **Performance Commerciale (PC):** signifie « obtenir la satisfaction du client ».



Figure 1.22 Axes de la Performance Opérationnelle attendu par Dassault Aviation

Dans notre travail, le parti pris a été de se limiter aux processus créateur de valeurs ; c'est donc logiquement que **nous nous focalisons sur la satisfaction de la performance opérationnelle** des opérations liées aux activités de la Supply Chain.

Cette performance opérationnelle est divisée selon si l'activité traitée est localisée dans la SC amont ou en interne (avant la livraison au client). La figure 1.23 nous montre les objectifs à atteindre pour chacune des performances réparties au sein de la SC amont ou interne.

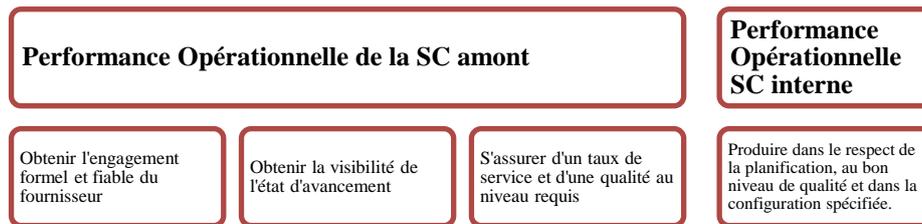


Figure 1.23 Différents niveaux de performance SC Dassault amont et interne (Dassault Aviation 2015)

Selon l'activité et sa localisation dans le processus, le niveau décisionnel considéré, la performance peut donc être mesurée au travers de différents critères en fonction des acteurs concernés, ceux-ci pouvant en effet avoir des attentes différentes.

De plus, la mesure des performances des activités créatrices de valeurs au travers de ces indicateurs permet de fait d'observer le niveau de valeur ajoutée du processus considéré.

Ainsi, dans cette thèse, **nous associons les performances avec les valeurs attendues par nos acteurs de la Supply Chain (voir chapitre 3).**

Afin de définir les valeurs attendues qui sont transformées en performance, nous devons analyser la relation qui existe entre ces deux termes.

1.4.3 La relation de la valeur avec la Performance

Comme nous l'avons vu dans notre cas d'étude, et comme décrit par (Dixon et al. 1990; Lebas 1995), nous savons que la performance est exprimée au travers de nombreux indicateurs. **Cet aspect multicritère de la performance va de pair avec l'aspect multidimensionnel de la valeur.** En effet, l'idée est de **satisfaire l'ensemble des parties prenantes du système**, contrairement à une vision mono objectif où seules les performances économiques, ou d'autres exigences prédéterminées relatifs au système SC, sont exclusivement considérées. Par conséquent, ici, nous considérons des valeurs attendues par les différents acteurs qui peuvent être économique, sociale ou environnementale ; associées à

des critères quantitatifs ou qualitatifs ; ou fondées sur des considérations objectives ou subjectives.

Les valeurs représentent donc des caractéristiques d'un système et permettent d'évaluer la performance globale de celui-ci en prenant en compte la satisfaction des parties prenantes.

Cette notion de valeur est définie de diverses façons. La **valeur est le jugement porté par les parties prenantes d'une SC** sur l'utilité globale du système comme réponse à ses besoins. Ce jugement se concrétise par des relations d'affaires dont il est possible de **mesurer les effets par des variables qualitatives et quantitatives** (Fabbe-Costes 2002).

La valeur est aussi définie comme étant le service ou produit fourni au client au juste prix, au bon moment et tel que défini par le client. Dans ce cas-là, il existe deux types de valeurs : la valeur ajoutée et la non-valeur ajoutée.

La **valeur ajoutée correspond à toutes activités qui ajoutent de la valeur** (marchande ou fonctionnelle) au produit, c'est-à-dire les activités pour lesquelles le client est prêt à payer.

La **non-valeur ajoutée, quant à elle, représente des activités non nécessaires** qui n'ajoutent aucune valeur marchande ni fonctionnelle au produit, c'est-à-dire du gaspillage.

Dans notre cas d'étude, nous nous intéressons aux valeurs ajoutées (VA) que le client attend, ainsi qu'à celles que les parties prenantes (acteurs du processus) de la Supply Chain cherchent à obtenir comme réponse à leurs performances attendues.

1.5 Conclusions du chapitre 1

Dans ce premier chapitre:

- Nous avons mis en relief les **enjeux** de la filière aéronautique, enjeux à la fois **économiques, technologiques et sociaux** nécessaires au maintien de la compétitivité du secteur. En particulier, nous remarquons une nécessité d'une plus forte d'intégration verticale, avec une collaboration plus étroite entre donneur d'ordres et sous-traitants.

- Nous avons souligné que la Chaine de Valeur (CDV) aéronautique dépend actuellement de son organisation par niveaux et que c'est **la sous-traitance qui apporte 70 à 80% de la valeur ajoutée de l'avion.**
- Nous avons constaté que la **Supply Chain (SC) basée sur une approche processus** intervient dans tout le Cycle de Vie du Produit aéronautique. La Supply Chain apparaît donc comme un élément déterminant **des finalités** de la production aéronautique.

En partant de ces constats, et après identification des parties prenantes, le périmètre à étudier a pu être précisé : la sous-traitance en production.

- C'est avec une **vision holistique de la SC** et à partir de la mesure de ses performances au travers de **la valeur attendue par les parties prenantes** que l'évaluation globale du système est cohérente. **Des préconisations d'amélioration pourront ainsi être formulées avec la garantie de leur efficacité globale lors de la mise en œuvre.**

Le chapitre suivant est consacré à la formulation de notre **problématique de recherche**. Un **état de l'art sur l'amélioration de la performance Supply Chain et des processus qui la régissent** est présenté et discuté. Sur cette base, nos **questions de recherche** sont formulées et **notre approche** pour y répondre est présentée.

Chapitre 2 Problématique, Etat de l'art & Approche

Pour effectivement « *Contribuer à l'amélioration de la performance globale de la Supply Chain dans le cas de la sous-traitance aéronautique de production* » (titre de notre thèse), nous commençons dans ce 2^{ème} chapitre par préciser les caractéristiques industrielles de la sous-traitance d'une Supply Chain en production aéronautique, ce qui permettra de clarifier et de justifier une première posture académique. L'élaboration d'un état de l'art nous conduira alors à la formulation de nos questions de recherche, et nous permettra de construire notre approche pour y répondre (voir sections 2.3 & 2.4).

2.1 Problématique :

2.1.1 Caractéristiques industrielles

Comme précisé dans le premier chapitre, notre travail s'intéresse à **la Supply Chain en production aéronautique** et principalement à sa Chaîne de Valeur (CDV), à laquelle contribue une diversité d'acteurs (CNI 2013) et où les sous-traitants apportent une valeur ajoutée très forte (70 à 80% VA).

La Supply Chain en production aéronautique est le résultat d'une succession d'une **multitude d'activités** (conception, approvisionnement, planification, production, distribution, ...), entreprises par une **multitude d'acteurs** (donneur d'ordres, équipementiers, sous-traitants, client, ...) et une **multitude de technologies organisées en secteurs professionnels** (procédés spécialisés de production,...), pour finalement créer une **multitude de valeurs** (qualité, économique, sociétale, environnementale, ...).

Cette multitude d'activités, d'acteurs et de secteurs professionnels est synonyme de **multitude d'attentes** pour cette Supply Chain, c'est ce qui la rend **complexe** à étudier. Ces acteurs interviennent à travers les différentes strates du contexte dressé en chapitre 1 (Intégration verticale de la sous-traitance, chaînes de valeurs, performances, etc...).

Trois caractéristiques majeures structurantes pour notre état de l'art ont été identifiées sur le terrain industriel : nous partons d'une SC existante, avec un haut niveau de complexité et un aspect sociotechnique fort.

La première caractéristique de la SC, objet de notre étude, réside dans le fait qu'elle existe déjà. Elle est opérationnelle, certes avec des dysfonctionnements, mais réalise sa fonction principale de gestion des flux physiques, d'information, et financiers.

Ainsi, l'objet de notre étude sera une re-conception partielle ou transformation des processus opérationnels existants pour déploiement effectif visant une performance améliorée plutôt qu'une conception d'un réseau ou d'une organisation Supply Chain multi-niveaux vue au travers du prisme de la Recherche Opérationnelle (optimisation des flux).

Notre recherche doit donc être menée dans une perspective d'amélioration pour l'aide à la re-conception, à la mise en œuvre et au déploiement d'une Supply Chain performante. C'est ce que nous verrons dans la section suivante.

La deuxième caractéristique du périmètre de notre étude (la performance globale de la Supply Chain avec sous-traitance de production aéronautique) a été brièvement évoquée ci-avant, il s'agit de la **complexité** causée tout autant par les sources internes que par les sources externes.

Nous avons identifié quatre sources de complexité : la multitude de parties prenantes, l'hétérogénéité organisationnelle, l'interdépendance et la variabilité.

La première source de complexité résulte de la présence de **plusieurs parties prenantes**. Dans notre cas d'étude, il s'agit de 6 usines de l'industriel partenaire, plus de 30 000 articles fournis par plus de 200 sous-traitants. Chacune d'entre-elles a des caractéristiques, des attentes, des organisations, et des stratégies différentes. Elles ont également leurs propres objectifs (économiques, techniques, environnementaux, liés à la performance, ...). Par conséquent, ces parties prenantes s'organisent de manière différente autour de leurs activités propres, au mieux en tenant compte de contraintes amonts/avales des autres parties prenantes.

La deuxième source de complexité est celle liée à **l'hétérogénéité**. Nous distinguons ici deux types : **l'hétérogénéité organisationnelle** liée aux flux physiques et d'information de la Supply Chain, et l'hétérogénéité liée à son **contexte** (**l'environnement de la SC**: fournisseurs, concurrents...).

La première, l'hétérogénéité **organisationnelle**, existe dans le management des **flux informationnels et physiques** qui traversent la Supply Chain et dans le périmètre étudié en fonction des flux choisis. Il existe en effet des hétérogénéités informationnelles entre chaque

acteur de la SC, par exemple des variations de prévisions entraînant des hétérogénéités dans le flux qui intervient entre chacun d'entre eux. La figure 2.1 présente par exemple une hétérogénéité dans l'information de prévision des ventes entre fournisseur et site de production, créant une hétérogénéité dans le flux physique les reliant, c'est-à-dire la livraison du produit.

La deuxième hétérogénéité concerne les éléments **du contexte (l'environnement de la SC) : on peut citer notamment** les prix des produits sous-traités, la disponibilité de matières premières, l'investissement de l'état, la législation, etc. **Ces hétérogénéités sont dépendent de la taille** du périmètre que nous considérons. Dans notre cas: **périmètre géographique français et uniquement la sous-traitance de rang 1.**

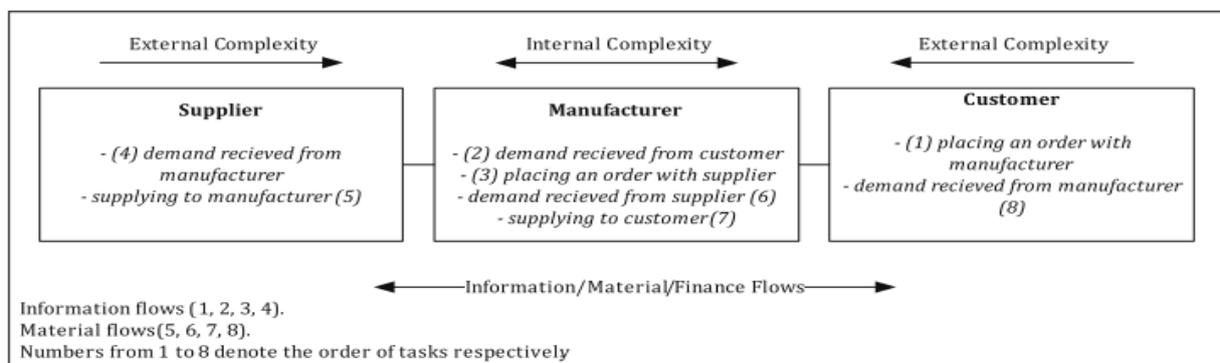


Figure 2.1 Sources de la complexité : L'hétérogénéité organisationnelle et les flux d'une SC (Isik 2011)

La troisième source de complexité vient de la non-indépendance des éléments constitutifs de la SC (articles, produits, processus ou acteurs) que nous appellerons **l'interdépendance**. Celle-ci existe dans au moins une des relations entre les éléments de la SC, et crée ainsi la complexité du système. Cette complexité augmente proportionnellement à l'interdépendance.

La quatrième source de complexité est **la variabilité**. Elle fait référence à une propriété d'un système dont les caractéristiques peuvent changer au cours du temps en fonction de l'environnement et/ou d'un quelconque événement potentiellement interne au système. Ainsi, plus un système voit sa variabilité augmenter, plus sa complexité sera grande. Un exemple de variabilité est, par exemple un changement de spécifications produit de la part d'un client qui ferait changer un procédé de production d'un sous-traitant ou d'un site de production.

Nous avons donc identifié **4 natures de complexité** qu'il faudra maîtriser (**multi parties prenantes, hétérogénéité, interdépendance et variabilité**) tant pour l'entreprise concernée que pour son contexte (l'environnement).

Enfin, la **dernière caractéristique** de la SC concerne sa nature **sociotechnique**. En effet, la Supply Chain intègre des aspects technico-économiques et organisationnels. Les aspects technico-économiques concernent: **la phase opérationnelle du processus sous-traitance, le monitoring et la maîtrise de la livraison**. Les aspects organisationnels font référence au pilotage entre les différentes parties prenantes pour trouver et mettre en place des actions qui améliorent les dysfonctionnements identifiés au préalable.

Pour l'étude de la Supply Chain aéronautique, ces deux points (technico-économiques et organisationnels) sont abordés dans la suite de notre travail.

Finally, one will remember that **our existing Supply Chain must be studied from a technico-economic and organizational point of view**, and this in all generality and in treating the various complexities identified.

Notre problématique peut alors se reformuler de la manière suivante :

Comment aider au pilotage de la performance d'une Supply Chain Aéronautique existante d'un point de vue technico-économique et organisationnel en se limitant principalement aux activités d'approvisionnement de la production par la sous-traitance, tout en maîtrisant les diverses natures de sa complexité?

The industrial interest in this research work can be summarized in two main points.

The first consists in **understanding the elements that impact the performance of the Sub-contracting of the Production of an Aeronautical Supply Chain (STP-SC)**. These elements are, for example, dysfunctions in the processes, such as the non-respect of delivery times, technical documentation not available, components not available, among others. The performances will be measured **in order to decide on the implementation of actions to reduce the impacts of these dysfunctions**. This has the aim of helping the management of the SC performance.

We wish to clarify that **SC performance represents a key management element for managers**. Moreover, many methods are proposed to measure and evaluate the global performance of the SC. In the literature, the models of Beamon (Beamon 1999), Chan (Chan & Qi 2003), Gunasekaran (Gunasekaran et al. 2004) and Kaplan (Kaplan & Norton. 1996) propose a list of indicators to be implemented and followed. As a

d'exemple, (Gunasekaran et al. 2004) propose une méthodologie pour mesurer la performance des processus SC classiques. Basée sur une analyse empirique, elle donne comme résultat des mesures qui peuvent aider au développement des programmes de mesure de performance SC. Un deuxième exemple est le modèle SCOR (Supply Chain Operation Reference) (Ntabe et al. 2014), proposé par le Supply Chain Council, qui permet de diagnostiquer et comprendre les processus SC à travers des indicateurs standards à chaque niveau décisionnel. En général, toutes ces méthodes se focalisent sur la mesure quantitative ou qualitative des processus selon le type de SC étudié au travers de calcul de KPI. Elles partent du fait que, pour améliorer la performance, on doit d'abord mesurer les processus SC, et réagir en conséquence pour atteindre les objectifs fixés (pilotage).

Dans notre étude, cependant, nous ne nous positionnons pas dans un contexte où la mesure de performances serait un objet permettant la définition d'un tableau de bord de pilotage, mais nous considérons la mesure de performance en tant qu'image représentative des potentiels leviers créateurs de valeur au sein des processus SC, afin, finalement, de les améliorer.

Nous faisons le choix ici, en accord avec l'industriel, de ne traiter que les aspects délais et coûts (des actions d'amélioration à faire) associés à la performance opérationnelle du processus de sous-traitance d'une SC (voir figure 2.2).

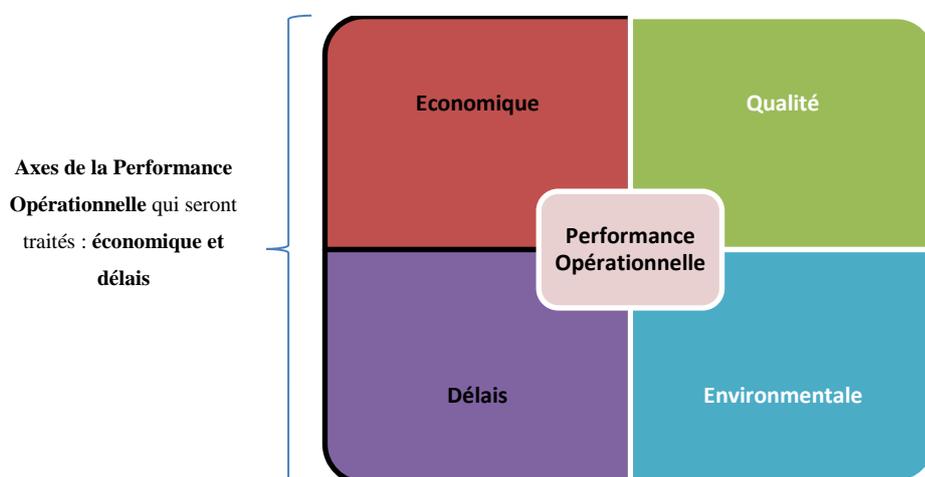


Figure 2.2 Axes de la Performance qui seront traités: économique et délais

Nous n'allons pas considérer les aspects qualité et environnement du processus et du produit pour les raisons suivantes :

- L'aspect qualité du produit est évalué par des indicateurs qualité du produit, et il est géré par un autre sous-processus (contrôle de qualité) qui dépend du département qualité. Notre

périmètre d'étude s'arrêtant avant (livraison des produits sous-traités en magasin), celui-ci n'est pas inclus dans nos analyses.

- L'aspect environnemental concerne un ensemble d'indicateurs comme le niveau de bruit au sol (nombre de décibels sur le cumul des opérations décollage et atterrissage), les émissions de CO₂, les émissions d'oxyde d'azote (NO_x), la réduction de la charge environnementale créée par la production et le retrait de service des aéronefs. Etant directement en lien avec les aspects techniques de l'avion que nous ne traitons pas dans cette thèse, ces indicateurs ne seront pas considérés ici.

Ayant précisé la problématique industrielle objet de notre étude, nous pouvons passer au choix de son positionnement académique.

2.1.2 Positionnement académique

2.1.2.1 Nécessité d'un paradigme systémique

Nous rappelons que notre problématique industrielle se formule comme suit : « *Comment aider au pilotage de la performance d'une Supply Chain Aéronautique existante d'un point de vue technico-économique et organisationnel en se limitant principalement aux activités d'approvisionnement de la production par la sous-traitance tout en maîtrisant les diverses natures de sa complexité?* » où seuls seront traités les aspects économiques et délais.

La systémique est une approche adaptée pour traiter des hétérogénéités, que ce soit au niveau du système lui-même ou de ses interactions avec son environnement comme nous allons le voir dans la partie suivante.

La pensée systémique (la systémique, la vision systémique, en anglais *systems thinking*) est un mode de pensée qui considère les objets étudiés comme des systèmes complexes et les traite d'une manière holistique, à savoir que le système est plus grand que la somme de ses composants. Elle repose sur une **épistémologie constructiviste**, par opposition à une **épistémologie positiviste**, qui considère un mode de pensée analytique cartésien classique.

Il existe plusieurs définitions complémentaires de la pensée systémique. Davidz (Davidz 2006) met l'accent sur cette notion d'**interdépendance** et définit la pensée systémique comme « *L'analyse, la synthèse et la compréhension des interconnexions, les interactions et interdépendances qui sont d'ordre technique, social, temporel et multi-niveaux* ».

Nous retiendrons la définition du collège français de systémique, représentée dans la figure 2.3 suivante.

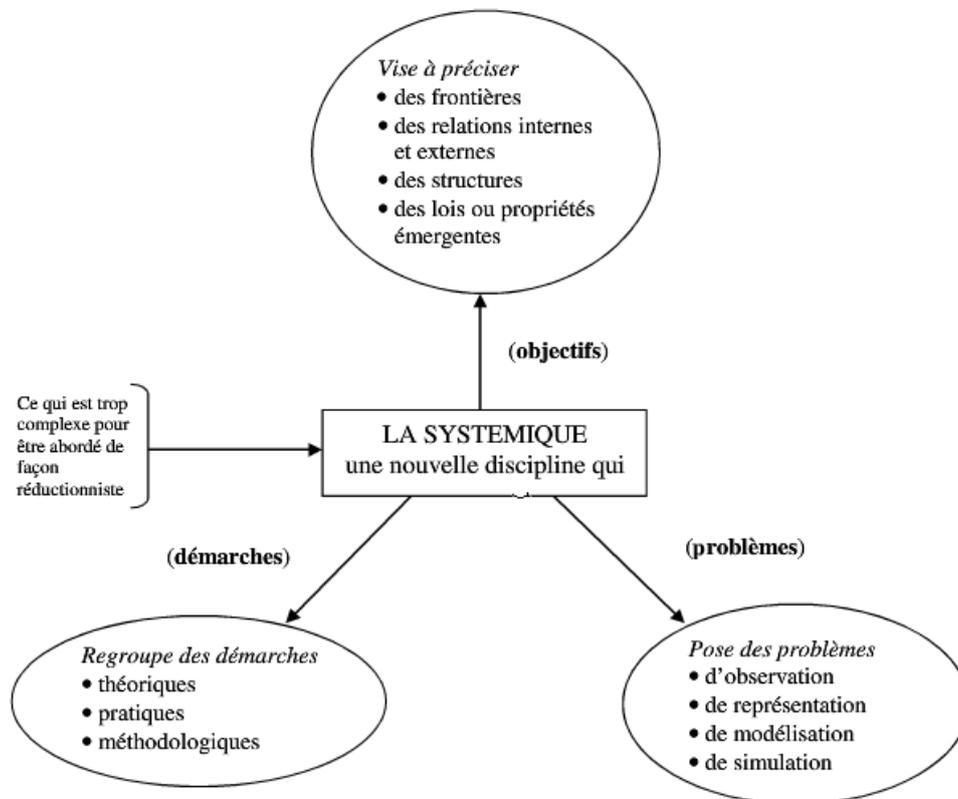


Figure 2.3 Définition de la systémique par le collège français de systémique. Source : (Durand 2013)

Jusqu'ici, nous avons introduit le mode de pensée ou paradigme scientifique qui traite des systèmes complexes. Dans la section suivante, nous définirons le concept de « système complexe » et en quoi notre objet d'étude peut être considéré comme tel.

2.1.2.2 La Supply Chain aéronautique comme « système complexe »

Bertalanffy (Bertalanffy 1973) définit un système comme « *un ensemble d'unités en interrelations mutuelles* ». Le Moigne (Le Moigne 1999), quant à lui, précise qu'il « *existe au sein d'un environnement, est muni de finalités (objectifs), réalise une activité (processus) et voit sa structure (ses moyens) évoluer (cycle de vie) au cours du temps, sans perdre son identité propre* ». Il précise également qu'un système est un ensemble isolable d'éléments caractérisé par quatre axes (voir figure 2.4):

- un axe ontologique, qui représente sa structure, ce qu'il est : les moyens ;
- un axe fonctionnel, qui représente son activité, ce qu'il fait : les processus ;
- un axe génétique, qui représente son évolution, ce qu'il devient : le cycle de vie ;

- un axe téléologique, qui représente sa finalité dans son environnement, ce qu'il a pour objectif.

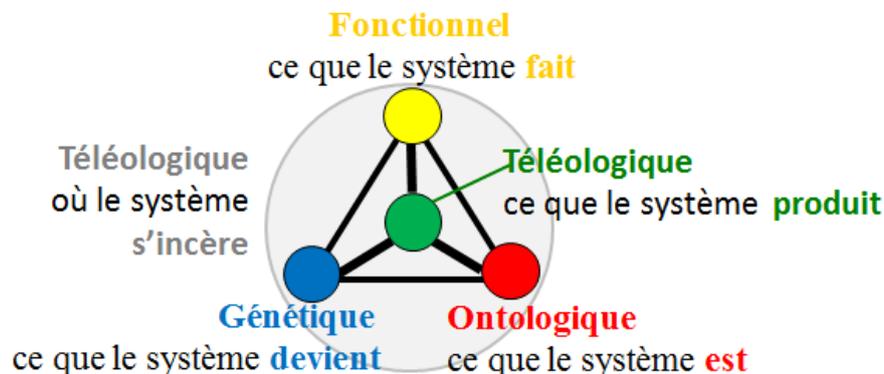


Figure 2.4 Diagramme des axes d'un système (Bocquet et al. 2007)

Conformément à ce que l'on sait désormais de tout système, la Supply Chain est **finalisée**, c'est-à-dire qu'elle a un but, à savoir se conformer aux spécifications théoriques et opérationnelles expliquées au chapitre 1 (chaîne de valeur, spécifications géographiques, processus SC, performance, ...). Ces finalités permettent d'identifier les parties prenantes de la SC et d'isoler le **périmètre à étudier** (*processus d'approvisionnement de la production par la sous-traitance*).

Une fois identifiée dans son **environnement**, la SC apparaît comme **un ensemble de composants interconnectés** entre eux (processus, activités, acteurs, produits,...), par des flux d'informations, de matières (produits semi-finis et composants) et financiers. Ce périmètre de la SC va **évoluer** depuis la phase de prévisions de commandes à sous-traiter jusqu'à la phase de livraison de produits.

Autant d'éléments qui contribuent à **considérer la Supply Chain que nous étudions comme un système**, dont nous en verrons la représentation selon les quatre axes de (Le Moigne 1999) au chapitre 3.

De plus, à travers la caractéristique de complexité illustrée au début de ce chapitre (2.1.1), nous en déduisons que c'est un système complexe.

La sous-traitance d'une Supply Chain peut donc être considérée comme un « **système organisationnel complexe** », susceptible d'être appréhendé par une **approche systémique**.

En conclusion, la double problématique académique qui ressort à la fois des caractéristiques industrielles et du positionnement académique est :

- **La maîtrise et le traitement de la complexité ;**
- **L'aide à l'amélioration de processus.**

Nous venons de montrer la nécessité et l'adéquation de la pensée systémique pour la première problématique.

Afin d'aborder la seconde, nous nous intéressons dans la section suivante à une analyse des travaux portant sur la Supply Chain.

2.2 Etat de l'art dans le domaine de la Supply Chain

A l'issue de la section 2.1.1, nous avons formulé notre problématique de la manière suivante :

« Comment aider au pilotage de la performance d'une Supply Chain Aéronautique existante d'un point de vue technico-économique et organisationnel en se limitant principalement aux activités d'approvisionnement de la production par la sous-traitance, tout en maîtrisant les diverses natures de sa complexité? »

A présent, nous allons confronter cette question à l'analyse de la littérature existante qui traite de la Supply Chain. D'une part d'un point de vue **modélisation et simulation**, et d'autre part d'un point de vue **techniques d'amélioration de processus**.

2.2.1 Travaux traitant de la modélisation et de la simulation appliquées à la Supply Chain

2.2.1.1 Modélisation

Tout d'abord, comme évoqué au chapitre 1, la SC peut être vue à travers deux dimensions différentes au travers desquelles nous pouvons catégoriser un grand nombre de travaux de modélisation de la Supply Chain :

- **Le niveau décisionnel temporel considéré lors des prises de décisions**
- **Le type d'opérations considérées dans les décisions.**

Le premier aspect peut être subdivisé en 4 catégories : les décisions long terme (stratégiques), moyen terme (tactiques), court, et très court terme (opérationnelles) (Dallery 2000; Babai 2005).

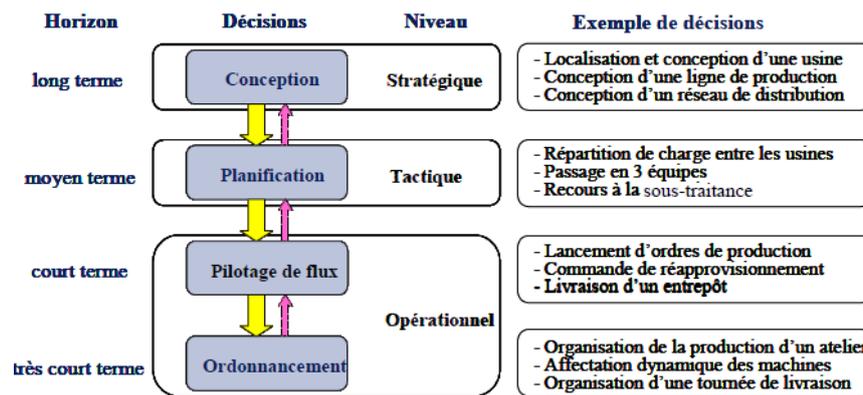


Figure 2.5 Différents niveaux de décisions dans la Supply Chain (Dallery 2000; Babai 2005)

Le second concerne plus spécifiquement où se situe les décisions prises au sein du processus d'approvisionnement. Ainsi, on peut par exemple catégoriser les décisions selon si elles font partie de l'**approvisionnement**, de la **production**, ou de la **distribution**.

Il existe dans la littérature de nombreux travaux de modélisation que l'on peut classer en fonction du niveau décisionnel temporel considéré d'une part, et de l'opération traitée d'autre part. A titre d'exemples : au niveau des **décisions stratégiques**, il existe de nombreux travaux considérant des modèles de choix et/ou de localisation de fournisseurs, ou encore des problématiques de make or buy (opérations liées à l'approvisionnement), de conception de ligne de production (opérations liées à la production), de conception de réseau de distribution et/ou choix d'un partenaire logistique (opérations liées à la distribution). Au niveau des **décisions tactiques**, nous pouvons citer les problématiques de planification des achats qui sont généralement modélisées par des modèles d'optimisation sous contraintes (opérations liées à l'approvisionnement), de planification de production et de gestion des stocks (opérations liées à la production), et enfin de planification de distribution. Finalement, les travaux considérant **les niveaux court et très court termes (opérationnel)** traitent par exemple de la livraison fournisseur (opérations liées à l'approvisionnement), d'ordonnancement sur les lignes de production (opérations liées à la production), et par exemple de l'affectation de véhicules lors des tournées de distribution (opérations liées à la distribution). Cette catégorisation concerne spécifiquement les domaines d'application des travaux de Supply Chain.

D'autre part, d'autres aspects peuvent être utilisés afin de caractériser les travaux de modélisation de la Supply Chain. Ainsi, Beamon (Beamon 1999) suggère quatre catégories de

modèles pour une **SC à multi-niveaux et multiprocessus** en fonction des hypothèses mathématiques de modélisation : modèles analytiques avec variables **déterministes** (connues) ou **stochastiques** (1 ou deux variables inconnues et suivent une loi de probabilité en particulier), modèles issues des théories **économiques** (théorie des jeux, modélisation par définition d'agents économiques, ...) et modèles utilisant les techniques de **simulation**.

De la même façon, il est intéressant de balayer les différents travaux de modélisation de la Supply Chain en fonction des **méthodes et outils** utilisés pour notamment représenter les processus ou les piloter, etc. Ainsi, on peut par exemple citer quelques **méthodes de modélisation** comme **les réseaux de Petri, les modèles de files d'attentes**, etc.

D'autres **outils de modélisation** sont également issus de l'**aide à la décision**, appliquée à la SC. Par exemple, nous pouvons citer (Tempelmeier 2011) qui utilise des modèles d'optimisation en programmation linéaire, (Zipkin 2000; Graves & De Kok 2003) qui utilisent notamment des modèles d'optimisation stochastique ou des heuristiques permettant le calcul d'une solution acceptable.

Il est important de noter que ces **outils** dépendent des hypothèses mathématiques et industrielles considérées, d'où un nombre important de travaux de modélisation de la Supply Chain. Les hypothèses à prendre en compte sont par exemple : **stochastique vs déterministes, continue vs discret, horizon glissant vs horizon fixe, statique vs dynamique**, etc. Les hypothèses industrielles à considérer sont par exemple le nombre de niveaux de production et/ou d'acteurs verticaux, le nombre de produits considérés dans le modèle, les problématiques de capacité, etc.

Etant donné les considérations théoriques à prendre en compte qui concentrent la modélisation à une partie très ciblée de la Supply Chain, nous trouvons ces modélisations peu adaptées à notre problématique qui traite au contraire des sources de complexité liées aux nombreux facteurs et aux considérations multi-acteurs.

Finalement, dans un autre contexte, afin de modéliser les processus SC, il faut les représenter. Pour ce faire, il existe différents **langages de modélisation** tels que l'**UML** (*Unified Modeling Language*) et le **SysML** (*Systems Modeling Language*). Ils permettent des représentations graphiques de processus dans le but d'en améliorer la compréhension. Les

logigrammes, les diagrammes de transition d'état, les diagrammes d'activités et les diagrammes de séquences sont couramment utilisés dans le monde industriel pour représenter les processus. La méthode d'analyse fonctionnelle descendante **SADT** (*Structured Analysis and Design Technique*) permet également une représentation graphique intéressante de systèmes complexes, où coexistent différents flux.

Il sera donc par la suite essentiel de définir le **cadre de modélisation** dans lequel nous nous trouvons dans notre étude de la Supply Chain, **les hypothèses à prendre en compte** dans notre modélisation, ainsi que le **langage à utiliser** afin de représenter le processus à étudier.

2.2.1.2 Simulation

Les techniques de simulation appliquées à la SC sont des méthodes basées sur les outils de la **gestion des opérations**. Les principaux types de simulation appliquées à la SC sont: **Simulation à événements discrets (DES), simulation de Monte Carlo (MCS), Dynamique de Systèmes (DS), Spreadsheet Simulation**, entre autres (Owen 2008).

Tous ces modèles et méthodes développées considèrent des indicateurs opérationnels (valeurs quantitatives calculables représentant les processus SC considérés) avec le plus souvent une vision locale ciblée sur un processus (la production ou la distribution...), qui se révèlent inadaptés à notre problématique. En effet, comme précisée précédemment dans la complexité issue du multi-acteurs, la prise de décision en entreprise, avec notamment de très nombreuses entités (usines, sous-traitants...) se doit de considérer tous les acteurs et tous les processus impliqués dans la SC (exemple du S&OP meeting défini par l'APICS (APICS 2014)), nous avons donc besoin d'avoir une vue globale de la SC pour répondre à notre problématique.

Pour ce faire, notre **SC de Sous-traitance** est prise en compte avec une **vision systémique** et une **approche orientée processus créateurs des valeurs**. Comme nous partons d'une SC **existante**, nous allons simuler **l'impact de la destruction de valeurs** (ici les dysfonctionnements) par rapport aux **objectifs attendus pour tous les acteurs** en mesurant au travers d'indicateurs la **performance** de notre système.

L'objectif étant finalement d'aider à re-concevoir afin d'améliorer les processus existants, nous passons maintenant aux différentes démarches existantes qui traitent de l'amélioration de processus appliqués à la SC.

2.2.2 Travaux traitant de l'amélioration des processus appliqués à la Supply Chain

Nous notons qu'il existe, d'une part, des méthodes pour l'amélioration continue de processus existants et, d'autre part, des approches pour la conception de processus.

Pour reconcevoir et améliorer des processus de production, nous avons relevé six démarches (Bodozgan 2010) :

1. La démarche du **Lean Management**, qui cherche à supprimer les « muda » des processus, gaspillage en japonais. Ces gaspillages sont la surproduction, l'attente, le transport, la qualité excessive, le stock, les gestes inutiles, les erreurs et corrections ainsi que la sous-exploitation des ressources.
2. La démarche **Total Quality Management (TQM)** a comme objectif d'obtenir une très large mobilisation et implication de tous les salariés d'une organisation pour parvenir à une qualité parfaite en réduisant au maximum les gaspillages et en améliorant en permanence les éléments de sortie des processus.
3. La démarche **Six Sigma** a comme objectif l'amélioration de la qualité et de l'efficacité des processus en diminuant leur variabilité. La démarche Six Sigma consiste à faire en sorte que tous les éléments issus d'un processus modélisé par une loi normale $\mathcal{X} \sim N(\mu, \sigma^2)$ soient compris dans un intervalle s'éloignant au maximum de 6 sigma par rapport à la moyenne de ce processus¹. Elle s'appuie sur cinq étapes résumées dans les acronymes DMAIC² et DMADV³ selon que l'on améliore ou conçoit de nouveaux processus.
4. La démarche **Theory of Constraints (TOC)** cherche à augmenter le débit des processus en identifiant et éliminant les contraintes qui l'entravent. Ces contraintes sont les goulots d'étranglement. Ils représentent dans cette théorie les maillons les plus faibles d'une chaîne de production.
5. La démarche **Agile Manufacturing** a pour objectif de concevoir des processus répondant rapidement aux besoins des clients et à l'évolution du marché tout en contrôlant les coûts et la qualité.
6. La démarche **Business Process Reengineering (BPR)** permet quant à elle de revoir le fonctionnement d'une entreprise pour restructurer de façon radicale ses processus. Cette

¹ Si la population est comprise entre la moyenne et 6σ , il y a 3 erreurs sur 1 million.

² DMAIC: *Define, Measure, Analyze, Improve and Control*.

³ DMADV: *Define, Measure, Analyze, Design and Verify*.

démarche consiste à déconstruire le processus existant, pour introduire plus de méthodes. Elle s'oppose à l'amélioration de processus qui s'appuie sur l'existant et l'analyse de ses dysfonctionnements.

Nous notons que **le point commun à ces six démarches** de re-conception et d'amélioration des processus est le fait que **les optimisations ne sont réalisées que pour une unité opérationnelle précise d'une structure existante de la SC** (fournisseur, usine de production, distributeur, ...). Elles sont donc appliquées dans **des cas très particuliers d'optimisation locale. Les processus ne sont donc pas optimisés pour l'ensemble des parties prenantes d'un système complexe organisationnel.**

Nous précisons aussi que l'outil **QFD** (Quality function deployment) existe à la fois dans les démarches du Lean, du Total Quality Management (TQM) et du Six Sigma. Cet outil pourrait permettre d'intégrer l'ensemble des parties prenantes d'un système complexe organisationnel pour la ré-conception de processus. Cependant, il ne permet pas d'effectuer des propagations faisant le lien entre les ressources, les processus, les indicateurs, les attentes et les parties prenantes, tel que nous désirons le faire.

Ainsi, **si nous voulons prendre en compte l'ensemble des paramètres d'un système multi-acteurs tel que celui de la Supply Chain, ces démarches ne sont pas adaptées** même si quelques outils (Diagramme Ishikawa, Pareto, ...) peuvent aider à analyser et mesurer les dysfonctionnements de processus pour mieux les comprendre.

Nous avons relevés **des exemples d'applications de ces six démarches dans la Supply Chain** et nous avons recensé les occurrences existantes dans le moteur de recherche Science Direct⁴. Le tableau 2.1 indique les résultats à la date de rédaction de la thèse (Date de consultation : le 22/01/2016).

Démarches d'améliorations en Supply Chain	Nombre d'occurrences
<i>Lean Management</i>	558
<i>Six sigma</i>	1190
<i>Total Quality Management</i>	2302
<i>Theory of Constraints</i>	921
<i>Agile Manufacturing</i>	1846
<i>Business Process Reengineering</i>	524

Tableau 2.1 Occurrence des travaux concernant les méthodes de conception et d'amélioration de processus dans le moteur de recherche Science direct (janvier 2016)

⁴ Science Direct est le moteur de recherche le plus connue en Ingénierie et en Supply Chain.

Ce tableau montre que la démarche **la plus systémique des six (TQM)** est la démarche la plus utilisée dans la Supply Chain. **Ces résultats confirment que seules les démarches systémiques peuvent permettre de prendre en considération la multitude de parties prenantes et de leurs enjeux dans une Supply Chain**, et, particulièrement dans le cadre de notre étude, **pour la SST. Notre objectif est également de maîtriser les sources de complexité.**

Nous avons donc pris finalement le parti pris de modéliser de processus de sous-traitance de production d'une Supply Chain à partir d'approches systémiques accompagnés d'outils de propagation.

Etant donné que notre sujet a pour objectif final la création de valeurs, nous utiliserons également les travaux de (Schindler 2009) et de (Jean 2013) sur la création de valeurs afin de reconcevoir **des processus en partant de la création de valeurs attendues par les parties prenantes d'un système complexe** tel que celui de la Supply Chain. Dans ce cadre, nous présentons la **méthode SCOS'M** (Systemic for Complex Organizational Systems Modeling) accompagnée de matrices de propagation **MDM** (Multiple Domain Matrix) au chapitre 3.

2.3 Formulation des questions de recherche

Il faut tout d'abord rappeler la problématique et positionnement académique suivants:

- *Comment aider au pilotage de la performance d'une Supply Chain Aéronautique d'un point de vue technico-économique et organisationnel en se limitant principalement aux activités d'approvisionnement de la production par la sous-traitance ?*
- *La maîtrise et le traitement de la complexité*
- *L'aide à l'amélioration/re-conception de processus*

L'analyse de l'état de l'art, à la lumière de ces éléments, avait montré que la problématique n'a pas été traitée dans sa globalité.

Nous avons montré que la modélisation est un prérequis afin d'étudier notre problématique selon ces trois précédents points de vue. En prenant en compte notre positionnement académique, **considérant le processus d'approvisionnement de produits sous-traités comme un système complexe**, nous formulons la première question de recherche comme suit :

Question de recherche 1

Comment modéliser la Supply Chain aéronautique en tant que système organisationnel complexe et en particulier les activités (d’approvisionnement) sous-traitées ?

Pour répondre à cette première question de recherche, nous allons modéliser le sous-système sous-traitance après avoir délimité la SC Globale. Cette modélisation nous permettra de comprendre de quoi la sous-traitance est composée, quels sont les acteurs, comment ceux-ci interagissent et quelles sont les attentes qu’ils souhaitent avoir, et de quelle façon les mesurer (indicateurs de performance).

Comme nous l’avons déjà souligné, notre étude concerne un système déjà existant (celui de la sous-traitance d’une SC d’une entreprise). Ainsi, nous avons besoin d’une **approche d’aide au pilotage pour l’amélioration de performances du système**, en analysant et simulant les impacts des dysfonctionnements. Cela nous permettra d’évaluer les aspects technico-économiques. Pour ce faire, nous formulons la deuxième question de recherche suivante :

Question de recherche 2

Comment mesurer et analyser les dysfonctionnements destructeurs de valeurs au sein du système organisationnel complexe modélisant les activités de la sous-traitance ?

Enfin, l’aspect **organisationnel** est partiellement abordé en littérature. Etant en présence de plusieurs parties prenantes avec des positionnements différents, nous formulons la troisième et dernière question de recherche suivante :

Question de recherche 3

Comment établir une méthodologie de mise en place d’un plan d’actions qui améliore les processus créateurs de valeurs de la sous-traitance ?

La modélisation systémique permet notamment de mettre en évidence les interactions (internes et externes) entre les acteurs du système. **Cela justifie, une fois de plus, l’étude de la sous-traitance d’une Supply Chain dans sa globalité, dans son environnement et sous les différents points de vue.**

La section suivante explique l'approche qui a été prise pour répondre à ces trois questions de recherche, et présente ainsi ce que nous proposons dans ce travail de thèse.

2.4 Approche

Pour répondre aux questions de recherche (QR) soulevées ci-dessus, nous adoptons un positionnement suivant les sciences de l'ingénieur. Nos trois questions de recherche viennent d'une problématique scientifique (introduite au point 2.1) mais également des interrogations de l'industriel et des acteurs du périmètre d'étude rencontrés durant la thèse. Les méthodes développées dans cette thèse fournissent une réponse à ces questions.

Nous avons suivi une démarche de **recherche-action** permettant à la fois d'effectuer des missions de terrain (ici au sein du département SC chez l'industriel) et de la recherche théorique (Liu 1992).

Notre démarche de recherche-action (voir figure 2.6) que nous avons utilisé pour nos questions de recherche se décompose en cinq étapes. La première consiste en l'analyse des besoins. La deuxième consiste en l'observation du terrain d'étude. La troisième conçoit le modèle. La quatrième l'analyse et l'optimise. Enfin la dernière le valide sur le terrain et répond aux problématiques initiales.

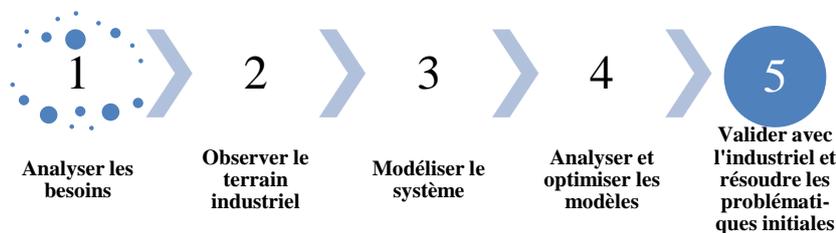


Figure 2.6 Démarche générale de la recherche (Adapté de (Liu 1992))

Dans ce cadre d'étude, nous présentons trois analyses suivant cette démarche qui correspondent aux QR. Chacune d'elles a été traitée dans un chapitre à part entière (chapitre 3, 4 et 5) que nous présentons brièvement dans les sous-sections suivantes. Des revues de littérature plus approfondies de ces QR seront entre autres exposées dans ces chapitres respectifs.

2.4.1 QR1 : Modélisation systémique de la Supply Chain

Avant toute analyse comportementale du système étudié, une première phase de représentation est nécessaire. En effet, la SC est composée de plusieurs acteurs, plusieurs

processus, plusieurs attentes et plusieurs phases d'évolution dans le temps. C'est l'objet de la QR (1) qui consiste à modéliser la sous-traitance d'une Supply Chain comme système complexe. Les objectifs principaux de cette première étape sont

- **L'identification des parties prenantes de ce processus de sous-traitance;**
- **L'identification des attentes de chacune des parties prenantes, mesurées par des indicateurs issus du processus de sous-traitance ;**
- **L'identification des variables qui influent sur la mesure de la performance des sous-traitants.**

Pour y répondre, nous allons nous appuyer sur les concepts de la pensée systémique. Au sein de la pensée systémique, nous utilisons la **méthode SCOS'M** (Systemic for Complex Organizational Systems Modeling), accompagnée de matrices de propagation **MDM** (Multiple Domain Matrix) afin de s'assurer de la réalisation de l'ensemble des valeurs attendues. Nous avons trouvé au sein de la sous-traitance un indicateur qui concerne plusieurs parties prenantes et qui permet de mesurer la **livraison à temps des sous-traitants (SOTD)** de la SC de l'industrie étudié. Cette modélisation sera détaillée au chapitre 3.

2.4.2 QR2 : Traitement d'indicateurs priorisés: analyse des dysfonctionnements et simulation

Une fois la modélisation systémique réalisée, nous pouvons faire ressortir les indicateurs d'intérêt mesurant les performances du processus. Une priorisation est ensuite réalisée, débouchant sur la priorisation de l'indicateur « **Livraison à temps des produits sous-traités (SOTD=Supplier On Time Delivery)** ». Cette identification nous amène à étudier l'intérêt qu'apporte cet indicateur à l'ensemble de parties prenantes intéressées en analysant plus en détails cet indicateur.

Ce **traitement de l'indicateur priorisé** est composé de deux parties : **l'identification des dysfonctionnements** et **la simulation des impacts de ces dysfonctionnements sur l'indicateur priorisé.**

La première partie, **l'identification des dysfonctionnements**, analyse les mesures de l'indicateur dans un environnement opérationnel opérant. Elle est divisée en deux sections que nous allons évoquer ci-dessous, mais qui seront développées en détails au chapitre 4.

La première section consiste à comprendre les **potentielles sources de dysfonctionnements** au sein du processus étudié au travers d'une étude approfondie du processus (son environnement, ses acteurs, et ses opérations) et d'une analyse des méthodes de mesures et de calcul de l'indicateur utilisées. La deuxième section étudie spécifiquement ces sources des dysfonctionnements préalablement identifiées afin tout d'abord de les **catégoriser, ensuite de comprendre leur impact sur le processus**, et finalement d'en dégager **une représentation quantitative** de notre cas d'étude.

Lors de cette première partie, nous avons pu répondre aux trois questions suivantes:

- 1) Quels sont les dysfonctionnements qui peuvent impacter sur l'SOTD ? ;
- 2) Comment ces dysfonctionnements impactent les variables du calcul de l'indicateur ? ;
- 3) Quelles sont les activités métiers et/ou leurs caractéristiques clés du processus sous-traitance qui peuvent avoir un impact sur l'indicateur ?

La deuxième partie du traitement de l'indicateur, qui correspond à **la simulation des impacts** de ces dysfonctionnements sur l'indicateur priorisé comporte quant à elle deux sections:

La première section consiste à comprendre le **lien quantitatif entre un « dysfonctionnement » et une diminution des performances mesurées par l'SOTD**. Pour ce faire, nous allons montrer dans quelles mesures un dysfonctionnement impacte négativement l'SOTD en réalisant **une analyse de sensibilité** afin de quantifier l'impact de ces dysfonctionnements sur l'SOTD.

La deuxième section consiste à pouvoir **comparer les « dysfonctionnements » entre eux pour prioriser les mesures d'amélioration à faire**. Nous allons montrer que si un dysfonctionnement impacte de façon plus importante l'SOTD qu'un autre, nous allons se focaliser sur l'amélioration de celui-ci plutôt que le premier.

Ces deux parties sont présentées très brièvement ici, elles seront développées en détail au chapitre 4.

2.4.3 QR3 : Proposition d'une méthodologie d'établissement de plan d'actions

A partir de l'analyse des dysfonctionnements et de la simulation des impacts des dysfonctionnements sur l'SOTD, nous allons proposer **une méthodologie d'établissement de plan d'actions d'améliorations** à appliquer dans le périmètre étudié (processus sous-traitance).

Cette méthodologie consiste à évaluer des leviers d'actions en fonction de la sensibilité des dysfonctionnements (mesure de l'impact) trouvés dans le chapitre 4. Ces leviers d'action sont basés sur la littérature et les informations recueillies auprès les experts industriels.

Ensuite, les leviers d'actions sont analysés en fonction de différents critères (faisabilité, budget, ...) pour arriver à une priorisation des actions à mettre en place. Pour cela, nous allons proposer aussi un outil permettant une procédure de choix guidée, basée sur l'implémentation de ce plan d'actions.

A travers cette méthodologie et les outils détaillés au chapitre 5, nous répondons à la QR3.

Le tableau 2 qui suit récapitule les outils mobilisés, ainsi que les résultats obtenus tout au long de l'approche.

Des conclusions et perspectives sont finalement discutées en dernière partie de cette thèse.

Comment aider au pilotage de la performance d'une Supply Chain Aéronautique d'un point de vue technico-économique et organisationnel en se limitant principalement aux activités d'approvisionnement de la production par la sous-traitance ?		
Question de recherche	Outils et théories mobilisés	Livrables & Analyses développés
1- Comment modéliser la Supply Chain aéronautique étant un système organisationnel complexe ?	<p>→ Analyse systémique : Méthode SCOS'M + matrices MDM</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Caractérisation du système (frontière, parties prenantes, attentes...) • Identification et priorisation des indicateurs qui influent sur la performance globale du système (et leurs attentes)
2. Comment mesurer et analyser les dysfonctionnements destructeurs de valeurs au sein du système organisationnel complexe modélisant les activités de la sous-traitance ?	<p>Méthodologie d'analyse de l'indicateur priorisé : SOTD</p> <p>→ Identification des causes des dysfonctionnements</p> <ul style="list-style-type: none"> • Analyse du processus étudié et ses indicateurs • Analyse des causes racines impactant l'indicateur priorisé <p>→ Simulation de l'indicateur priorisé et analyse de sensibilité de l'indicateur par rapport à ces causes racines</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Tableau descriptif des activités et analyse timeline • Paramétrage des variables considérées • Catégorisation des CRs par le diagramme Ishikawa • Quantification des impacts des délais et paramètres stochastiques sur l'SOTD • Analyses de sensibilité : résultats sur l'amélioration des paramètres influençant l'SOTD • Priorisation des CRs à traiter
3. Comment établir une méthodologie de mise en place d'un plan d'actions qui améliore les processus créateurs de valeurs de la sous-traitance ?	<p>Outil d'aide à la décision :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Etat de l'art sur les potentiels leviers à implémenter • Matrice leviers/causes racines/critères 	<p>Proposition d'une méthodologie de mise en place d'un plan d'actions</p> <ul style="list-style-type: none"> • Identifications des leviers potentiels à implémenter • Evaluation des leviers face aux CRs • Evaluation des leviers face aux critères choisis • Présentation de l'outil et comparaison des résultats

Tableau 2.2 Récapitulatif de l'approche développée

2.5 Conclusions du chapitre 2

Dans ce travail, nous nous sommes intéressés à la sous-traitance d'une SC aéronautique, afin d'identifier ses caractéristiques industrielles.

Le contexte industriel nous a permis de formuler la problématique suivante : *Comment aider au pilotage de la performance d'une Supply Chain Aéronautique d'un point de vue technico-économique et organisationnel en se limitant principalement aux activités d'approvisionnement de la production par la sous-traitance ?* Il nous a également permis d'orienter notre positionnement académique, à savoir la nécessité d'une approche **systémique**.

Ainsi, si la pensée systémique est un champ d'étude adapté à notre problématique, cela suppose de considérer la sous-traitance d'une Supply Chain aéronautique comme « **système organisationnel complexe** », et de mobiliser différentes disciplines scientifiques afin de traiter cette problématique selon ces différents points de vue.

La revue de littérature nous a permis d'identifier les travaux existants sur l'amélioration de la performance de la Supply Chain aéronautique. Ces travaux, même s'ils sont nombreux, ne répondent pas à tous les aspects de la problématique, ainsi qu'au périmètre de notre étude.

Au regard de cet état de l'art, nous avons formulé les trois questions de recherche suivantes :

- 1- Comment modéliser la Supply Chain aéronautique étant un système organisationnel complexe ?
- 2- Comment mesurer et analyser les dysfonctionnements destructeurs de valeurs au sein du système organisationnel complexe modélisant les activités de la sous-traitance ?
- 3- Comment établir une méthodologie de mise en place d'un plan d'actions qui améliore les processus créateurs de valeurs de la sous-traitance ?

Pour y répondre, une approche recherche-action a été présentée. Elle permet de passer du terrain à la recherche académique, afin de réaliser des analyses complémentaires et traiter les différents points de vue de la problématique.

Etant donné que les trois questions de recherche mobilisent une recherche-action et la pensée systémique appliquée dans le domaine Supply Chain, des chapitres distincts leurs sont consacrés. Ces trois chapitres (3, 4 et 5) constituent la deuxième partie (empirique) de ce rapport de thèse. Une partie que nous allons aborder tout de suite.

Chapitre 3 Modélisation Systémique de la Supply Chain

Au chapitre précédent, nous avons explicité notre approche afin de répondre à la problématique, en nous appuyant sur les trois questions de recherche identifiées (Section 2.3).

Dans cette approche systémique, le processus de Sous-Traitance de production au sein d'une Supply Chain est considéré comme un « **système organisationnel complexe** », permettant ainsi de mobiliser les concepts de la pensée systémique pour le modéliser, comme nous allons le voir à travers ce troisième chapitre.

Dans ce chapitre, nous nous intéressons donc à la première question de recherche : *Comment modéliser la Supply Chain aéronautique en tant que système organisationnel complexe et en particulier les activités (d'approvisionnement) de la sous-traitance ?* Ce chapitre et cette première question de recherche ont pour but :

- La caractérisation de la filière (parties prenantes, sous-systèmes, indicateurs pertinents, etc.)
- L'identification des variables clés du processus approvisionnement.

Nous avons précédemment mis en lumière les sources de complexité de la filière (2.1.1), dont il faudra tenir compte lors de la modélisation, à la fois au niveau de :

- La présence d'incertitudes liées à son environnement.
- La multiplicité des parties prenantes qui s'y attachent, avec des perspectives et des attentes différentes.

Ce chapitre est divisé en deux parties. Dans la première, nous introduisons l'état de l'art relatif à notre première question de recherche, à savoir « la modélisation des systèmes organisationnels complexes ». Dans cet état de l'art, nous allons introduire les méthodes pertinentes pour modéliser la SC et ce, en tenant compte de ses différentes complexités. Dans la seconde partie de ce chapitre, nous illustrons l'application de la méthode systémique à la SC.

3.1 Etat de l'art sur la modélisation des systèmes complexes

La modélisation d'un système relève souvent des pratiques de la Recherche Opérationnelle (RO) (Pidd 2004), ou le côté 'hard' de la RO (*hard operational research*). La modélisation

des systèmes complexes quant à elle, relève de la pensée systémique et de son interaction avec une recherche opérationnelle dite, 'soft' (*Soft Operational Research*).

D'après notre positionnement académique (2.1.2), nos travaux s'appuient sur la **pensée systémique et la RO 'soft'** desquels nous allons identifier les méthodes et outils pertinents pour modéliser la Sous-traitance d'une Supply Chain. Il faut entendre par 'soft' le fait que, comme nous sommes dans une problématique de diagnostic et de ré-conception d'un système, nous ne pouvons pas s'appuyer sur un état stable de notre système, état stable qui permet d'appliquer la RO 'hard' (les méthodes mathématiques exactes).

Au chapitre 2, nous avons qualifié la Sous-traitance d'une SC comme système organisationnel complexe, d'où la nécessité de caractériser ce dernier, notamment ce qui fait son caractère organisationnel (parties prenantes). Comme justifié au chapitre précédent nous avons choisi la **méthode SCOS'M** (*Systemics for Complex Organisational Systems' Modelling*) (Schindler 2009; Patay et al. 2007). Nous allons maintenant la présenter. C'est une méthode issue de la **famille des méthode SCOS'** (*Systemics for Complex Organisational Systems'*) proposée par (Bocquet et al. 2007). C'est celle-ci que nous avons retenue, puisque elle s'intéresse à la modélisation des systèmes en re-conception, à l'instar de celui que nous étudions.

3.1.1 La méthode SCOS'M

La **méthode SCOS'M** (*Systemic for Complex Organizational Systems' Modeling*) est une méthode qui s'inspirent des travaux de Le Moigne (Le Moigne 1990; Le Moigne 1994; Le Moigne 1995; Le Moigne 1999), notamment au niveau de la représentation d'un système.

Cette méthode appartient à la famille SCOS' (*Systemic for Complex Organizational Systems*) développée par Bocquet (Bocquet et al. 2007). Cette méthode permet de modéliser et concevoir de nouveaux processus créateurs de valeurs. Certains travaux ont utilisé cette méthode, notamment ceux de Schindler (Schindler 2009) et Jean (Jean 2013).

Les étapes de cette méthode sont illustrées dans la figure 3.1. La première étape de cette méthode concerne «l'axe téléologique». Il représente la **volonté stratégique ou le «programme politique»** qui guide le système pour être dirigé vers des objectifs clés. Puis, le système est considéré dans chacune de ses phases. A chaque phase (faisabilité, conception, déploiement, exploitation, fin de vie) correspond des parties prenantes stables. De la connaissance de ces parties prenantes, on peut déduire une **identification**, dans chacune des

phases, d'un ensemble de **valeurs partagées**, eu égard aux attentes des parties prenantes et des contraintes que ces dernières exercent sur le système.

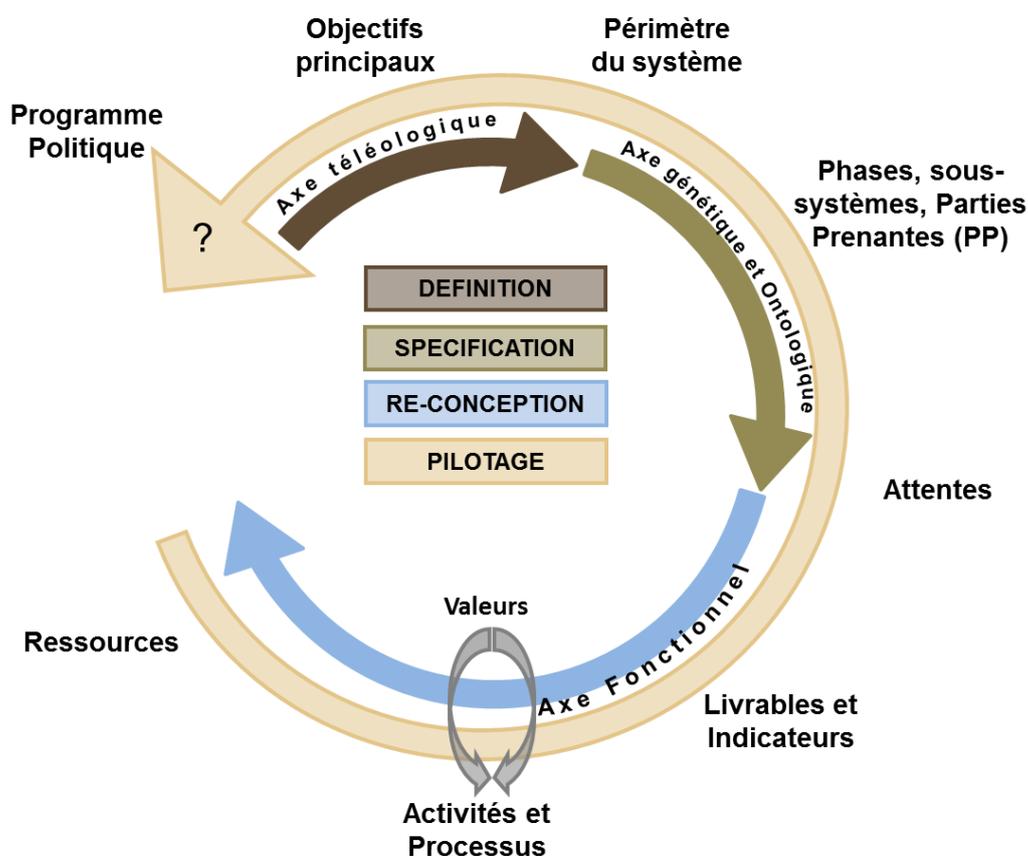


Figure 3.1 Méthode SCOS'M pour la modélisation des systèmes complexes (Bocquet et al. 2007)

La réalisation de ces valeurs passe ensuite par la **définition d'objectifs et de livrables attendus**. Ces livrables sont eux-mêmes réalisés par des **processus**, que nous pouvons dès lors concevoir de manière justifiée dans la mesure où ils doivent être définis en adéquation avec l'ensemble de valeurs partagées préalablement définies.

Enfin pour s'exécuter, ces processus nécessitent la mobilisation de **ressources** tant humaines que matérielles ou financières : ces ressources sont elles-mêmes définies de manière justifiée dans la mesure où elles doivent rester en adéquation avec les processus préalablement définis.

Cette démarche permet également de piloter le système. Chacune des parties prenantes du système a des attentes différentes concernant l'incorporation de la technologie innovante. La **mise en place d'indicateurs précis** permet de comparer les créations de valeurs réelles et celles désirées par chacune des parties prenantes.

Nous verrons la représentation de notre système selon ses quatre pôles et son application à la Sous-traitance d'une SC dans ce chapitre à la section 3.2. La combinaison de SCOS'M avec les autres méthodes de modélisation est illustrée à la section suivante (3.1.2).

La mise en place opérationnelle de la méthode SCOS'M se fait au travers un enchainement de matrices qui s'appuie sur le domaine de recherche MDM ((Multiple Domain Matrix).

3.1.2 Les Matrices MDM (Multiple Domain Matrix)

Les **matrices de dépendance MDM (Multiple Domain Matrix)** permettent d'aider à la compréhension, la conception et l'optimisation des systèmes complexes (Eppinger & Browning 2012). Elles ont notamment été utilisées pour améliorer les flux de processus, les architectures de systèmes et les infrastructures informatiques pour faire en sorte de réduire leur complexité (Yassine 2004). Ces outils permettent de travailler à l'amélioration des processus de conception de produits (Clarkson et al. 2004).

Nous avons ainsi appliqué des matrices MDM à notre méthode SCOS'M permettant **de faire le lien entre les ressources, les processus, les indicateurs, les attentes et les parties prenantes**. Cela permet de comprendre quelles ressources sont utilisées, par quels processus, pour quelles créations de valeurs. **L'idée est d'aider visuellement à la re-conception de processus.**

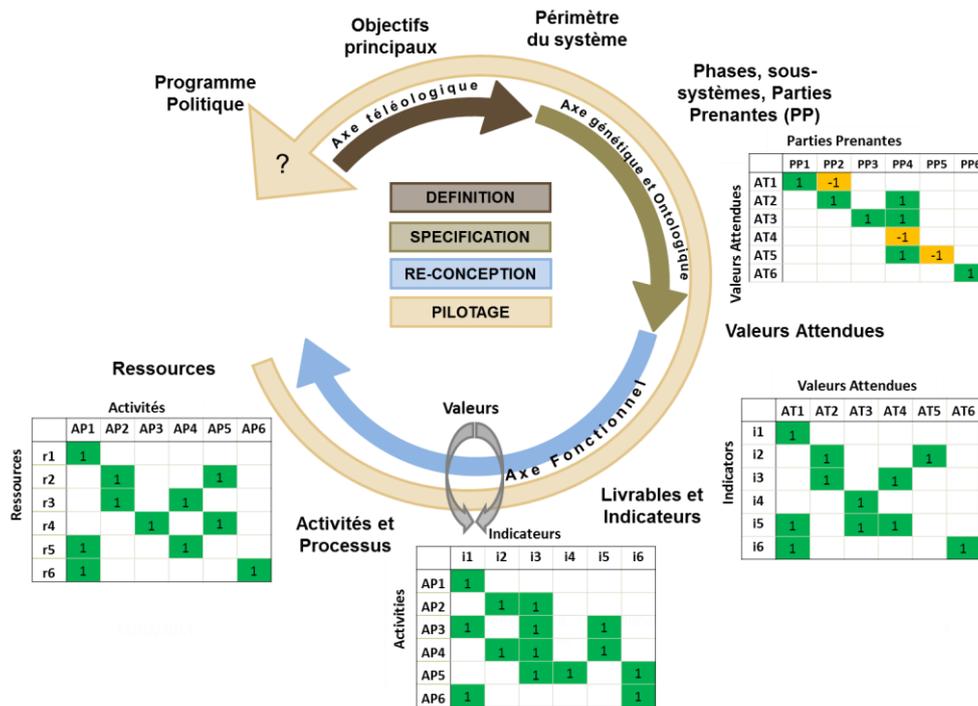


Figure 3.2 Matrices MDM appliquées à la méthode SCOS'M (adapté de (Jean 2013))

La figure 3.2 illustre les quatre matrices devant être **construites par des observations de terrain** et liant les ressources, les processus, les indicateurs, les attentes et les parties prenantes.

Nous avons ainsi quatre matrices :

- **Matrice 1 (M1)** : qui lie les parties prenantes et leurs attentes. Si une partie prenante (p1, p2, p3, ...) désire une attente spécifique (at1, at2, at3, ...), un « 1 » est indiqué à leur intersection, si elle ne la désire pas, un « -1 » est indiqué, si elle est indifférente l'intersection est laissée vide ;
- **Matrice 2 (M2)** : qui lie les attentes aux indicateurs mesurant ces attentes. Si une attente (at1, at2, at3, ...) peut être mesurée par un indicateur spécifique (i1, i2, i3, ...) un « 1 » est indiqué à leur intersection sinon l'intersection est laissée vide ;
- **Matrice 3 (M3)** : qui lie les indicateurs aux activités. Si un indicateur permet de mesurer une activité, un « 1 » est indiqué à leur intersection sinon l'intersection est laissée vide ;
- **Matrice 4 (M4)** : qui lie les activités aux ressources. Si une activité consomme une ressource, un « 1 » est indiqué à leur intersection sinon l'intersection est laissée vide.

Nous avons ainsi quatre matrices répondant à quatre questions :

1. Quelles **attentes** sont désirées par quelles parties prenantes ?
2. Quels **indicateurs** permettent de mesurer quelles attentes ?
3. Quelles **activités** sont mesurables par quels indicateurs ?
4. Quelles **ressources** financent ou supportent quelles activités ?

Ces matrices permettent ainsi d'aider à améliorer les processus dans l'objectif de satisfaire l'ensemble des parties prenantes. Dans notre cas d'étude nous étudions un sous-système de la Supply Chain : « la sous-traitance de production ». Ainsi, ces matrices nous aideront à améliorer les processus associés à la sous-traitance de sa SC. Nous verrons dans les sections suivantes l'application de ces matrices et de toute la modélisation systémique.

3.2 Cas d'étude : modélisation de la Sous-traitance d'une SC

Pour effectuer la **modélisation de la Sous-traitance d'une SC**, nous utilisons la méthode SCOS'M présentée dans la partie 3.1.1. Ainsi, nous définissons l'axe téléologique de notre système (motivation politique et objectifs principaux), puis l'axe génétique et l'axe

ontologique (phases, parties prenantes et attentes) et enfin l'axe fonctionnel avec l'identification des indicateurs, la conception des processus et l'identification des ressources nécessaires à leur exécution.

3.2.1 Observation du terrain d'étude et recueil de données

Pour reconcevoir le processus décrit au paragraphe 3.2 (SST d'une SC), nous avons collecté des données. Ce paragraphe décrit notre processus de collecte effectué en deux étapes comprenant la réalisation d'un état de l'art et un recueil de données sur le terrain.

La première étape a consisté à réaliser un **état de l'art étendu de la SC** pour cartographier tous les acteurs du système et fixer une première liste de leurs valeurs attendues. Nous avons, entre autres, consulté la revue de la littérature de (Beamon 1998) qui fournit un état de l'art des articles scientifiques internationaux concernant la SC. Nous avons également étudié les rapports de la SC aéronautique issus de structures publiques (CNI 2013; PIPAME 2009) et des entreprises privées (Airbus Group 2012; GIFAS 2014; Dassault Aviation 2013).

La deuxième étape a consisté à modifier cette **première liste de valeurs** de manière itérative (Miles & Huberman 2003) en l'adaptant à notre cas d'étude. Pour ce faire, nous avons réalisé **18 entretiens semi-directifs** et participé à **4 réunions d'experts**. Ces deux approches nous ont permis d'avoir une liste d'attentes par parties prenantes la plus complète possible.

Pour les entretiens, nous avons interrogé les participants aux processus sous-traitance (acheteurs de produits sous-traités, planeurs de sous-traitance, sous-traitants, ...).

Le déroulé de chacun des entretiens s'est effectué suivant le plan énoncé à la figure 3.3.

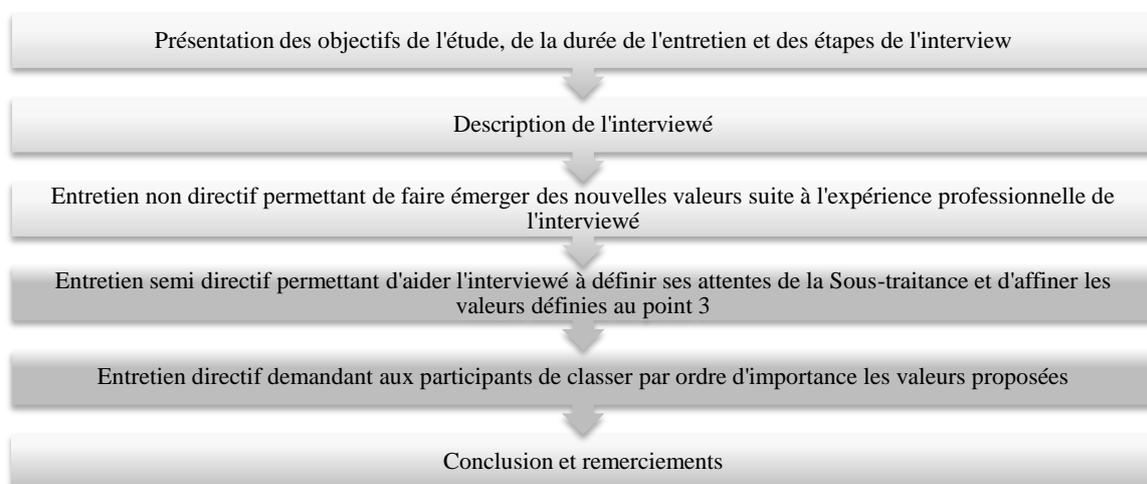


Figure 3.3 Déroulement des entretiens

Ces entretiens ont permis d'incrémenter la liste des valeurs attendues au fur et à mesure des interviews et de recueillir des propositions de mesure de ces valeurs grâce à des indicateurs définis par les acteurs.

Nous avons également participé à 4 réunions de travail dans le comité Supply Chain.

Cela nous a permis d'incrémenter et de valider les valeurs attendues par les parties prenantes du système organisationnel (managers de la SC, décideurs au sein de la direction des opérations).

Le tableau 3.1 récapitule les parties prenantes contactées. La première colonne, représentant le numéro d'ordre des parties prenantes interviewées, a un total de 15. La deuxième colonne identifie la partie prenante en question. La troisième colonne présente la stratégie de collecte des données et la quatrième le nombre de rencontres (voir le tableau B.1.1.1 complet dans l'annexe technique section B.1.1).

N° Partie Prenante	Partie Prenante (PP)	Stratégie de collecte de données	Nombre de rencontres
PP1	Client-Programme...	workshop d'experts	4
PP2	SST	entretien	2
PP3	...	workshop d'experts	4
PP4	...	workshop d'experts	4
PP5	...	workshop d'experts	4
PP6	...	workshop d'experts	4
PP7	...	workshop d'experts	4
PP8	...	entretien	1
PP9	...	entretien	2
PP10	...	entretien	4
PP11	...	entretien	1
PP12	...	entretien	2
PP13	...	entretien	2
PP14	...	entretien	2
PP15	...	entretien	2

Tableau 3.1 Parties prenantes rencontrées

3.2.2 Application de la Méthode SCOS'M pour la modélisation systémique

Les résultats de ces entretiens et de ces workshops ont été structurés dans les trois premières étapes de SCOS'M pour caractériser notre système étudié, en identifiant ses sous-systèmes, les différents flux entre eux, ses phases d'évolution et, le plus important, ses parties prenantes. Cette application est explicitée dans les paragraphes suivants.

3.2.2.1 Périmètre du système

Nous avons considéré le système global de la « Supply Chain Aéronautique », puis nous l'avons décomposé en sous-systèmes fonctionnels. Pour ce faire, nous nous sommes appuyés sur la caractérisation de la Supply Chain exposée à la section (1.3.3), ainsi que des workshops auprès des experts industriels concernés⁵.

Nous avons distingué les sous-systèmes SC (voir figure 3.4): la **Recherche et Développement (R&D)**, la **planification**, les **achats et l'approvisionnement**, la **Fabrication (en interne ou par le sous-traitant)**, la **distribution et vente** et la **réparation (Service Après-Vente)**.

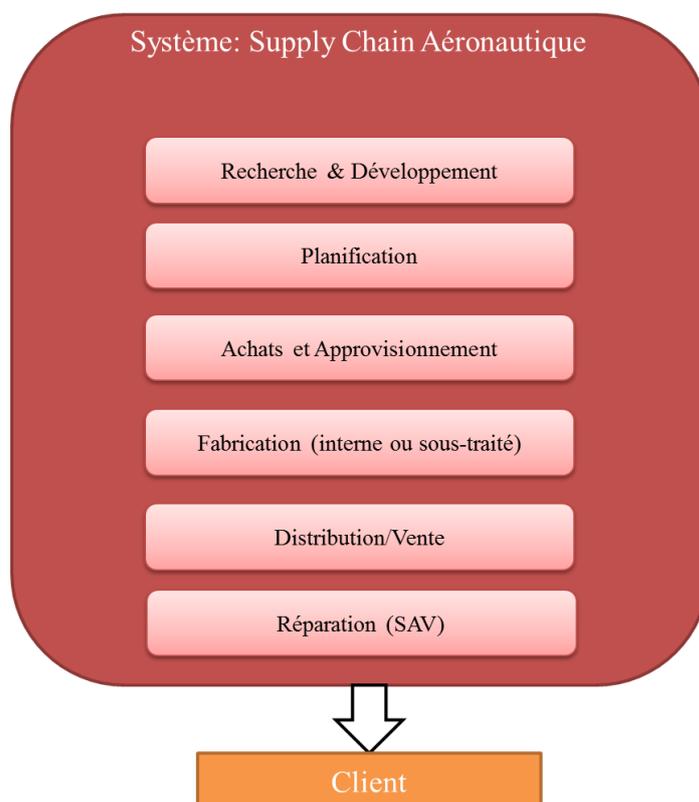


Figure 3.4 Limitation du système étudié et sa décomposition initiale en sous-systèmes

⁵ Il s'agit d'un groupe d'experts de notre partenaire industriel, regroupant des experts de divers domaines de la SC: planification, achats, magasin, qualité en centrale et en site de production, etc.

La sous-traitance de la production, partie intégrante du sous-système « fabrication », fait cependant appel à un grand nombre des sous-systèmes représentés en figure 3. Par exemple, une production sous-traitée a, de la même façon qu'une production en interne, besoin en amont des informations issues du sous-système planification, ou encore, sera intimement liée au réseau de distribution aval représenté par le sous-système « distribution », etc. La sous-traitance de production est donc en interaction avec tous les sous-systèmes représentés figure 3.4. Nous allons donc dans ce qui suit isoler ce sous-système nommé: « **Sous-traitance de la Production d'une Supply Chain (STP-SC) Aéronautique** ».

3.2.2.2 Décomposition du sous-système « Sous-traitance de la Production d'une Supply Chain (STP-SC)»

Nous rappelons que nous avons distingué **trois types de sous-traitance** : partenaires stratégiques, sous-traitants de production et sous-traitants de support de production (voir section 1.3.3.2 figure 1.21).

Ces trois types sont déployés grâce au sous-système appelé « Sous-traitance de la Production d'une Supply Chain (STP-SC) » dans lequel interviennent nombreuses fonctions d'autres sous-systèmes présentées dans la figure 3.5.

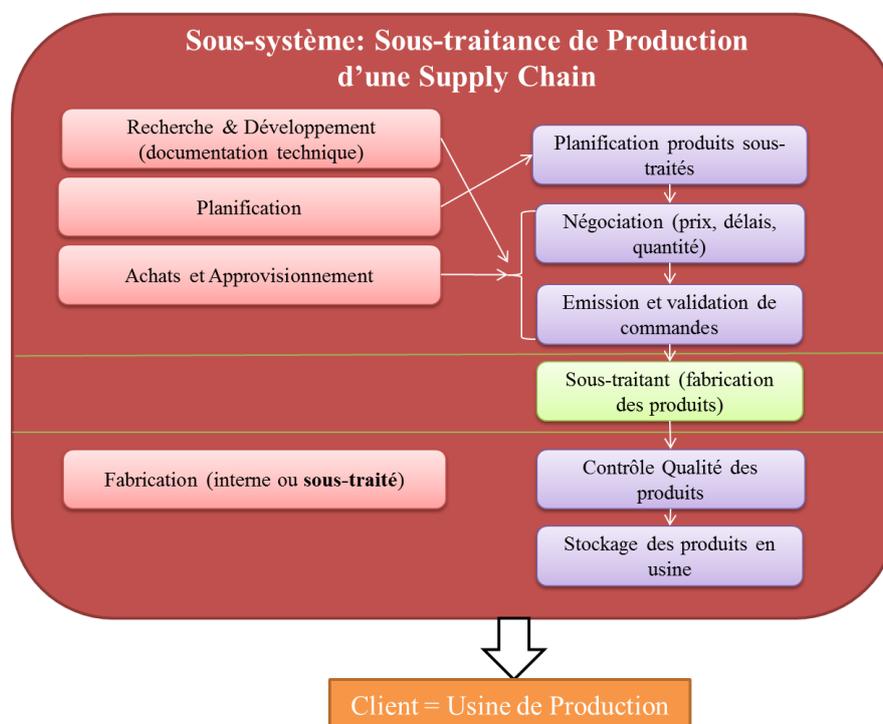


Figure 3.5 Décomposition du sous-système « Sous-traitance de Production d'une Supply Chain »

Cette décomposition sera détaillée au moment de présenter les activités du **sous-système** « **Sous-traitance de Production d'une Supply Chain** » (voir section 3.2.3.3).

3.2.2.3 Phases du cycle de vie (CdV) du système SC

Comme considéré classiquement dans un cadre de modélisation systémique, nous avons considéré deux phases dans le cycle de vie (CdV) du système SC (voir figure 3.6):. Nous identifions quels sous-systèmes présentés dans la figure 3.4 appartiennent à ces phases.



Figure 3.6 Les phases du Cycle de Vie de la SC

La **phase de conception** est composée de trois sous-phases : la R&D, la planification et les achats. La **R&D** (Bureau d'étude en centrale) définit les spécifications techniques des éléments qui constituent l'avion et qui doivent être industrialisés par les R&D (Bureau d'étude) de chaque site de production. La **planification** définit les plans de production à niveau stratégique (PIC et PGP) qui doivent ensuite être réalisés par les sites de production (PDP). Ensuite, la **phase d'industrialisation** se déclenche avec le plan industriel de production au niveau site de production qui décline le plan d'**approvisionnement et achat** précisant la quantité de composants à sous-traiter, leurs délais de livraison souhaités, leur prix et le sous-traitant auprès duquel commander. Les commandes de **fabrication (internes ou sous-traitées)** sont réalisées pour finalement terminer la fabrication par le montage et l'assemblage final, avant la livraison et la **distribution et la vente** des avions.

Nous présentons dans la section suivante comment ces phases du système SC sont représentées suivant la pensée systémique.

3.2.2.4 Représentation de la SC selon 4 pôles

La représentation du système, selon les pôles téléologique, ontologique et génétique, sert à structurer l'environnement du système, notamment les **parties prenantes**. Ici, nous avons utilisé la méthode de décomposition d'un système industriel selon 4 pôles (Perron 2002).

Notre système « Supply Chain » (voir figure 3.7) s'insère dans un **environnement** composé de : marchés (civil et militaire), concurrents (fabricants de nouveaux avions d'affaires et militaires : Embraer, Bombardier, ...), fournisseurs (sous-traitants de production, de services

logistiques, de développement, ...), de matières premières (produits sous-traités rang 2, équipementiers, ...), services logistiques (transport inter-usine).

Il génère une **valeur ajoutée** qui satisfait les clients finaux, les metteurs sur le marché d'avions d'affaires, les actionnaires, les employés, et les managers. Il met en œuvre des processus SC comme la planification, les achats, la production (interne ou sous-traité), la distribution et la vente des avions.

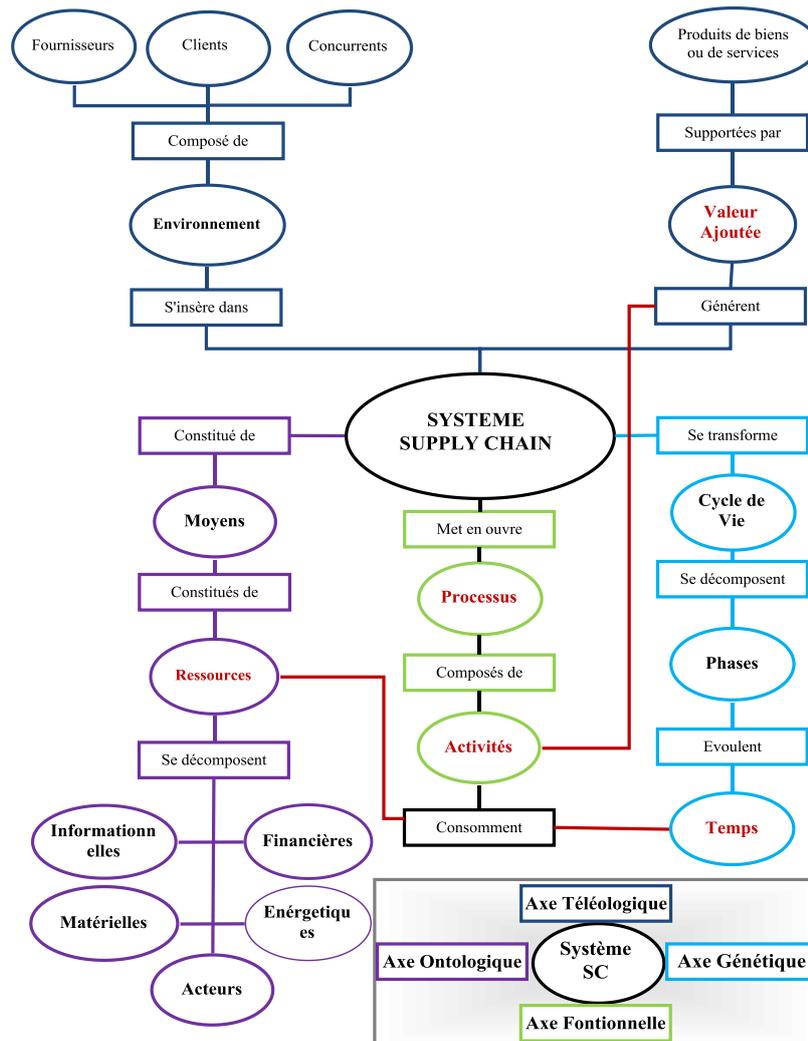


Figure 3.7 Vision systémique d'un système SC (adapté de (Perron 2002))

Il est constitué de **moyens** comme des ressources physiques (composants, machines, matière premières,...), financières, matérielles, informationnelles, acteurs (planeurs de production, acheteurs, approvisionneurs, magasiniers, transporteurs, contrôleurs qualité, ...), et il se transforme selon son **cycle de vie** qui se décompose en deux phases : conception de la SC (R&D, Planification, Achats) et industrialisation de sa production interne ou sous-traitée (Approvisionnement, Fabrication interne ou sous-traité, Distribution/Vente).

Cette représentation identifie les liens entre les matrices (lignes en rouge). Ils seront présentés dans la section suivante à travers l'application des matrices MDM à notre cas d'étude.

3.2.3 Représentation du sous-système « Sous-traitance de la Production d'une Supply Chain (STP-SC) » à travers les matrices MDM

Nous allons implémenter la méthode SCOS'M accompagnée des matrices MDM pour représenter le sous-système choisie « STP-SC ».

Pour des questions de confidentialité, les matrices MDM seront accessibles dans l'annexe technique section B.1.2 exclusivement aux membres du jury de cette thèse. A titre d'exemple, une partie des matrices sera illustrée pour comprendre son application.

3.2.3.1 Matrice 1 (M1) : Valeurs (AT) identifiées pour les parties prenantes (PP)

Comme le préconise la méthode, nous avons d'abord produit la matrice M1 qui identifie :

- Les **Parties Prenantes (PP)**, qui sont les acteurs internes ou externes ayant un lien ou un intérêt quelconque avec la sous-traitance et qui sont concernés par son fonctionnement.
- Les **Valeurs Attendues (AT)** (selon le point de vue) de chaque partie prenante en répondant à la question : *De quelle nature sont les créations/destructions de valeurs attendues ?*

Ces valeurs attendues (AT) sont disposées en lignes et les parties prenantes (PP) sont disposées dans les colonnes (voir tableau 3.2).

Ensuite, nous avons renseignée cette matrice grâce à la collecte de données issues des observations terrain à travers les entretiens semi-directifs et la participation aux réunions avec les experts de l'entreprise. Elle est remplie et représentée à l'intersection entre les valeurs et les parties prenantes à travers les critères suivants :

- Par un "1", s'il existe une création de valeurs (plus de 50% personnes interrogées désirent cette valeur);
- Par un "-1", s'il existe une destruction de valeurs (plus de 50% personnes interrogées ne souhaitent pas cette valeur);
- Dans les autres cas, les cases sont laissées vides, la partie prenante étant indifférente à la valeur.

ATTENTES (VALEURS) \ PARTIES PRENANTES		PP1	PP2	PP3	PP4	PP5	PP6	PP7	PP8	PP9	PP10	PP11	PP12	PP13	PP14	PP15
		Client-Direction Programme	Sous-traitants
ECONOMIQUE																
AT1	Maîtrise du coût d'inventaire selon le budgété				1	1		1					1			
AT2	...															
AT3	...															
AT4	...															
DELAIS																
AT5	Transférer la commande dans un bon délai en respectant le Cycle Fournisseur	1			1		1				1					1
AT6	...															
AT7	...															
AT8	...															
AT9	...															
AT10	...															
AT11	...															
AT12	...										1		1			
QUALITE																
AT13	Meilleure qualité du produit du sous-traitant		1				1	1							1	
AT14	...															
AT15	...															
AT16	...															
AT17	...															
AT18	...															
AT19	...															
ENVIRONNEMENTALE																
AT20	Respect des émissions de CO2						1					1				

1	Axe Téléologique
1	Valeur forte attendue
-1	Valeur ne pas désirée par la partie prenante
	Partie prenante indifférente

Tableau 3.2 Matrice 1(M1) : Valeurs attendues par les différentes Parties Prenantes (PP) de la SC

Dans notre cas d’application, nous avons trouvés **15 catégories de parties prenantes (PP)** qui interviennent dans la sous-traitance de la SC. Ensuite, nous les avons interviewées et nous avons trouvés **20 valeurs attendues (AT)** qui sont regroupées **en quatre domaines (délais, valeurs économiques, qualité, valeurs environnementales)** afin de faciliter la re-conception des futurs processus.

A titre d’exemple nous pouvons voir que la valeur attendue « *transférer la commande dans un bon délai en respectant le cycle fournisseur (AT5)* » est désirée par 5 parties prenantes « (PP2), (PP5), (PP7), (PP10) et (PP15) ». De même, pour créer la valeur « *maîtrise du coût d’inventaire selon le budgété (AT1)* », il faudra considérer les parties prenantes « (PP4), (PP5), (PP7), et (PP12) ».

Nous pouvons observer le **croisement global des valeurs attendues (AT) et parties prenantes (PP)** dans la matrice M1 (voir l’annexe technique section B.1.2.1 tableau B.1.2.1).

Après avoir identifié ces valeurs, nous allons travailler sur les indicateurs permettant de mesurer ces créations de valeurs dans la section suivante.

3.2.3.2 Matrice 2 (M2): Indicateurs (i) pertinents pour les valeurs attendues (AT)

Dans cette matrice M2, nous avons identifié les « **indicateurs clés de performance** » rendant compte la **création/destruction**⁶ de chaque valeur trouvée (voir tableau 3.3).

Nous pouvons voir que les **indicateurs (i)** de bases sont disposés **en ligne**, et ont une influence sur les **valeurs attendues (AT)** qui sont disposées **en colonne**. Cette matrice est renseignée comme la matrice M1, mais les critères pour les intersections ont été les suivants :

- S’il y a un « 1 », une influence existe entre indicateur et valeur. Pour quantifier ces influences, des facteurs de pondération sont à définir selon les objectifs à traiter pour la SC.
- Dans les autres cas, la case est laissée vide (pas d’influence).

Ces indicateurs peuvent être de différente nature : qualitative ou quantitative, discrète ou continue. La plupart des indicateurs proposés dans notre matrice M2 sont issue d’un état de l’art et l’analyse de processus sous-traitance.

Nous pouvons remarquer qu’à un même champ de valeur attendue peuvent correspondre plusieurs indicateurs. Dans ce cas, les indicateurs peuvent être regroupés par nature, et, le cas échéant, pondérés.

INDICATEURS(ATTENTES (VALEURS))	AT1	AT2	AT3	AT4	AT5	AT6	AT7	AT8	AT9	AT10	AT11	AT12	AT13	AT14	AT15	AT16	AT17	AT18	AT19	AT20
	Realisation du coût d'inventaire selon le budgeté				Transférer la commande dans un bon délai en respectant le Cycle Fournisseur							Meilleure qualité de produit du sous-traitant		Avoir une qualité de la nomenclature de composants						Respect de s'émisions de CO2
11 Coût d'un inventaire	1																			
16 Qualité des DO (qu'ils soient respectés suivant le contrat fournisseur et à jour dans notre MRP)					1															
18 Nb de commandes livrées					1															
19 Délais de mise à jour de nomenclature															1					
113 Qualité de la nomenclature															1					
117 Délais de mise à disposition des composants					1															
126 Qualité des articles sous-traités (rebuts)													1						1	

Axe Fonctionnel
1 Attente peut être mesurée par un indicateur spécifique
 Sinon vide

Tableau 3.3 : Matrice 2 (M2): indicateurs qui mesurent les attentes des parties prenantes (PP)

⁶ La performance peut être positive ou négative

Dans notre cas d'application, pour cette matrice M2, nous avons trouvés un ensemble de 26 indicateurs (i) qui peuvent mesurer les 20 valeurs attendues (AT) (voir tableau 3.3).

Dès lors, nous pouvons par exemple remarquer que pour mesurer la création de valeur « *Avoir une qualité de la nomenclature des composants (AT15)* », il faudra, entre autres, prendre en compte l'indicateur « *délais de mise à jour de nomenclature (i9)* » et « *qualité de la nomenclature (i13)* ». De même, pour mesurer la création de valeur « *Transférer la commande dans un bon délai en respectant le Cycle Fournisseur (AT5)* », il faudra considérer les indicateurs « *Qualité des DO (c'est-à-dire qu'ils soient respectés selon le contrat et à jour dans notre MRP) (i6)* », « *Nombre de commandes livrées à l'heure (i8)* » et « *Délais de mise à disposition des composants (i17)* ».

Nous pouvons observer le détail du **croisement global des indicateurs (i) et valeurs attendues (AT) dans la matrice M2 de l'annexe technique section B.1.2.2, tableau B.1.2.2.**

Après avoir identifié ces indicateurs permettant de mesurer les créations de valeurs, nous allons travailler sur les activités qui créent ou détruisent effectivement ces valeurs.

3.2.3.3 Matrice 3 (M3): Activités (ap) de la Sous-traitance générant de la valeur mesurée par les indicateurs (i)

La matrice M3 « *Activités (ap) de la Sous-traitance mesurées par des indicateurs (i)* » identifie ce que la sous-traitance doit produire (livrables ou fonctions) pour répondre aux attentes des créations (ou destructions) de valeurs. Ces créations sont mesurables à travers des indicateurs clés de performance (M2).

Ces livrables/fonctions résultent de l'achèvement d'une ou de plusieurs activités. Pour les identifier, nous avons renseigné la matrice M3 (voir tableau 3.4), laquelle fixe le périmètre et la phase du sous-système sous-traitance.

Cette étape stabilise la stratégie globale du système et les matrices M1, M2 et M3 seront constantes et non paramétrables dans la suite de la mise en œuvre de cette méthode.

Les critères de remplissage de cette matrice M3 ressemblent aux autres matrices:

- S’il y a un « 1 », les indicateurs (i) peuvent mesurer les activités et processus (ap).
- Dans les autres cas, la case est laissée vide.

PROCESSUS-ACTIVITES/ INDICATEURS		i1	i2	i3	i4	i5	i6	i7	i8	i9	i10	i11	i12	i13	i14	i15	i16	i17	i18	i19	i20	i21	i22	i23	i24	i26
		Coût d'un inventaire	Coût d'une sortie magasin	Coût d'une commande
ap1	Gérer les données Techniques									1				1									1			
ap2	...					1	1	1	1			1	1					1			1			1	1	
ap3	...		1					1	1		1							1					1	1		
ap4	...																									
ap5	...																									
ap6	...																									
ap7	...																									
ap8	...																									
ap9	...																									
ap10	...																									

Axe Fonctionnel
1 Indicateur peut être mesurée par des processus-activités
 Vide, si l'activité processus ne peut pas être mesuré

Tableau 3.4 Matrice 3 (M3): Activités de la Sous-traitance mesurées par les indicateurs identifiés

Dans notre cas d'application, pour cette matrice M3, nous avons trouvé un ensemble de 10 activités globales (ap) qui peuvent être mesurées par les 26 indicateurs (i).

Nous pouvons par exemple remarquer que pour mesurer l'activité « *gérer les données techniques (ap1)* », il faudra, entre autres, prendre en compte les indicateurs « *(i9), (i13) et i22)* ». De même pour mesurer l'activité « *(ap2)* », il faudra considérer les indicateurs « *(i5), (i6), (i7), (i8), (i11), (i12), (i17), (i20), (i21) et (i22)* ».

Egalement, nous pouvons observer le détail du **croisement global des activités globales (ap) et indicateurs (i) dans la matrice M3 (voir l'annexe technique section B.1.2.3, tableau B.1.2.3).**

Les activités du processus de sous-traitance

Une fois les indicateurs définis, la conception des processus constitue la suite de cette méthode. Pour cela, nous modélisons tout d'abord le processus de sous-traitance. Ce processus a été modélisé suite à nos travaux et aux collaborations étroites avec des experts. Les activités de ce processus de sous-traitance ont été prises telles que celles présentées au chapitre 1 (voir figure 1.18, section 1.3.3).

A titre d'exemple, nous montrons dans la figure 3.8 les différentes activités réalisées par les parties prenantes (PP) pour mettre en place le processus de sous-traitance de la production.

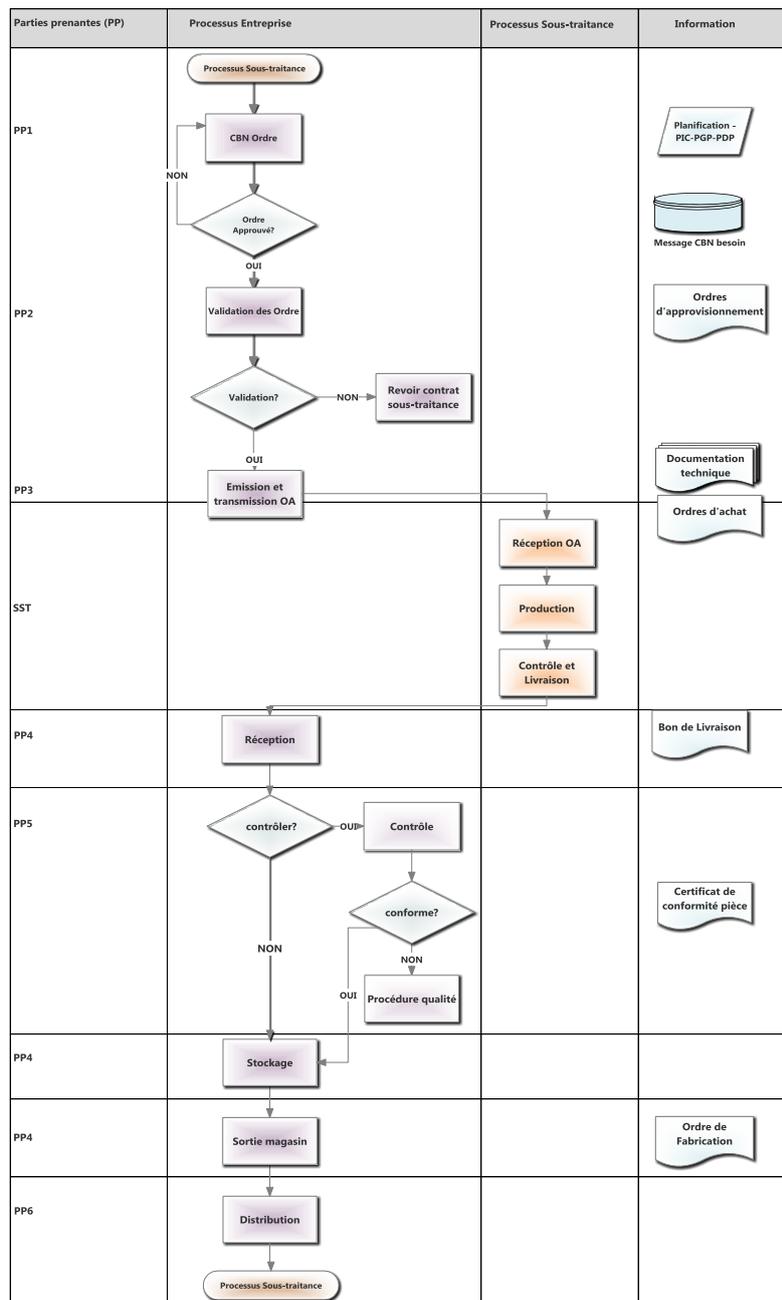


Figure 3.8 Les activités (ap) du processus sous-traitance

Nous pouvons observer le **détail global de ces activités du processus de sous-traitance dans l'annexe technique section B.1.2.3, figure B.1.2.1.**

Après avoir identifié ces indicateurs (i) permettant de mesurer les activités et processus (ap), nous allons travailler sur les ressources (r) qui peuvent être consommées par ces activités (ap) dans la section suivante.

3.2.3.4 Matrice 4 (M4): Ressources (r) consommées par les activités (ap) de la Sous-traitance

La matrice M4 « Ressources (r) consommées par les Activités (ap) de la Sous-traitance » identifie et valorise (calcule ou estime) les moyens de différentes natures nécessaires pour mettre en œuvre les processus/activités établis par la sous-traitance.

Ces moyens sont exprimés et quantifiés dans les unités physiques les plus pertinentes. Il peut arriver que certains processus « immatériels » ne puissent pas être valorisés en unités physiques.

RESSOURCES / ACTIVITES		ap1	ap2	ap3	ap4	ap5	ap6	ap7	ap8	ap9	ap10
		Gérer les données Techniques	:	:	:	:	:	:	:	:	:
r1	Nb de Personnes (expertise)	1	1	1	1	1	1	1	1		
r2	...										
r3	...										
r4	...										
r5	...										
r6	...										
r7	...										
r8	...										
r9	...										
r10	...										
r11	...										
r12	...										
r13	...										
r14	...										
r15	...										

Axe Fonctionnel	
1	Processus-activités peut être réalisée par des ressources
	Vide, si l'activité-processus ne peut pas être réalisé par tel ressource

Tableau 3.5 Matrice 4 (M4): Identification des ressources consommées par les activités de Sous-traitance

Les critères de remplissage de cette matrice M4 (voir le tableau 3.5), sont:

- S’il y a un « 1 », les activités et processus (ap) ont besoin de ces ressources pour être réalisés.
- Dans les autres cas, la case est laissée vide.

Dans notre cas d’application, pour cette matrice M4, nous avons trouvé un ensemble de 15 ressources (r) qui peuvent aider à réaliser les 10 activités globales (ap).

Ici, à titre d'exemple, nous pouvons remarquer que nous avons besoin de prendre en compte la ressource « *nombre de personnes expertes (r1)*, entre autres, pour réaliser les activités « *gérer les données techniques (ap1), (ap2), (ap3), (ap4), (ap5), (ap6), (ap7) et (ap8)* ».

Nous pouvons observer le détail du **croisement ressources (r) et global des activités globales (ap) dans la matrice M4 de notre cas d'application dans l'annexe technique section B.1.2.4, tableau B.1.2.4.**

Après avoir identifié ces ressources (r) consommées par les activités et processus (ap), nous allons travailler sur les améliorations à faire au sein de ces processus (ap).

3.2.4 Identification des processus à améliorer

Après avoir appliqué les matrices MDM (M1, M2, M3, et M4) à la méthode SCOS'M, nous pouvons constater que:

- Nous avons identifié **15 parties prenantes (PP)** au sein de la « sous-traitance de Production d'une Supply Chain ».
- Nous avons souligné **20 valeurs attendues (AT)** par les 15 parties prenantes (PP).
- Nous avons identifié **26 indicateurs (i)** qui peuvent mesurer les 20 valeurs attendues (AT) précédentes.
- Nous avons remarqué **10 activités et processus (ap)** qui doivent être réalisés.
- Nous avons constaté **15 ressources (r)** nécessaires pour réaliser ces activités.

Ensuite, pour connaître les améliorations à faire, nous avons suivi la logique de re-conception de la méthode SCOS'M (voir figure 3.9) en quatre points :

1. D'abord, nous avons priorisé les valeurs attendues (AT) (qui ne sont pas encore satisfaites) en fonction du nombre croissant de parties prenantes (PP).
2. Ensuite, nous avons regardé les indicateurs (i) qui mesurent ces valeurs (AT).
3. Puis, nous avons observé les activités et processus (ap) qui sont mesurés par ces indicateurs (i) et qui impactent directement sa performance.
4. Une fois que les activités et processus (ap) ont été repérés, nous avons identifié les ressources (r) nécessaires pour les mettre en œuvre.

Dans notre cas d'application, nous avons identifié la valeur (AT) « **Meilleure ponctualité fournisseur (livraisons à 95%) (AT9)** », souhaitée par plusieurs parties prenantes « **(PP1), (PP4), (PP5) et (PP7)** » comme étant prioritaire. Cette attente est mesurée par plusieurs indicateurs comme « **(i8), (i10) et (i24)** » et eux-mêmes mesurent plusieurs activités et processus comme « **(ap2), (ap3) et (ap5)** ». Ces activités consomment des ressources comme « **(r2), (r3), (r4), (r5), (r6), (r7), (r8), (r9), (r10) et (r11)** ».

Nous pouvons observer le détail de ces résultats dans les matrices (M1, M2, M3 et M4) de notre cas d'application trouvés dans l'annexe technique (section B.1.2).

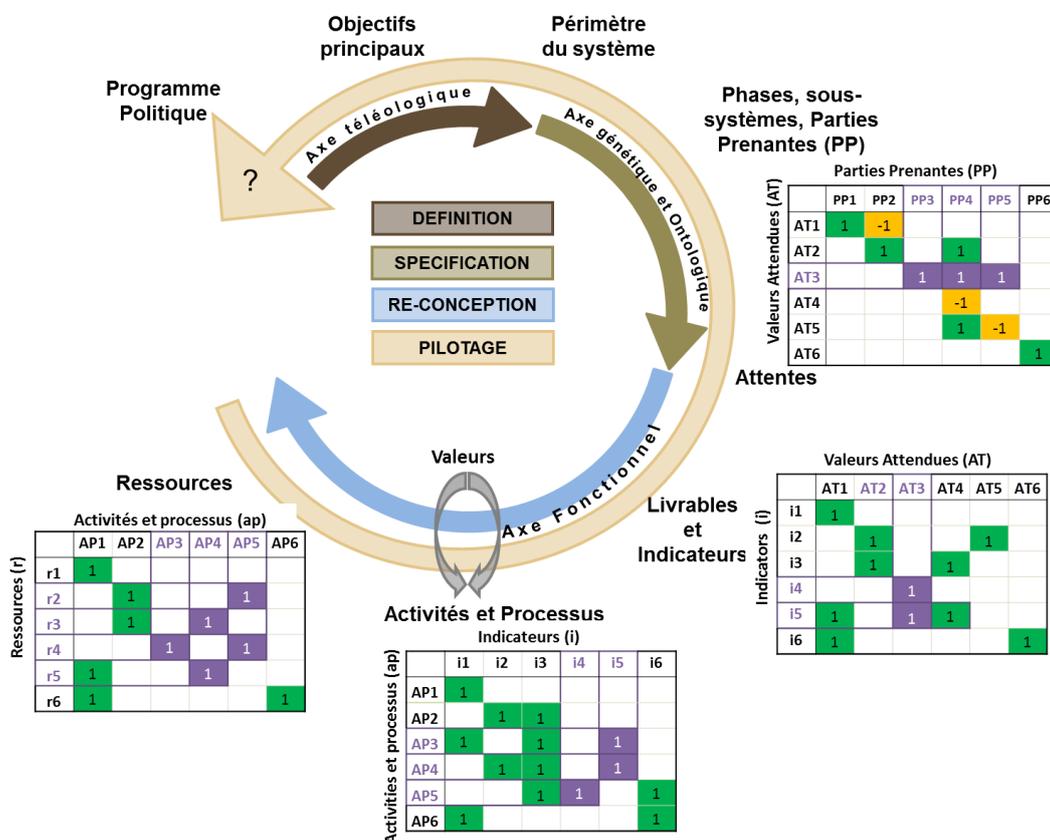


Figure 3.9 Méthode de re-conception en appliquant les matrices MDM à la méthode SCOS'M (adaptée de (Jean 2013))

Après avoir priorisé la valeur attendue (AT) « **Meilleure ponctualité fournisseur (livraisons à 95%) (AT9)** » et son indicateur (i) associé « **Livraison à temps fournisseur SOTD (Supplier On Time Delivery)** ».

La validation de la méthode sera expliquée dans la section suivante.

3.2.5 Remarques concernant la validation et la généralité de la méthode

Cette méthode SCOS'M a été utilisée afin d'identifier les processus à améliorer comme le « *processus de sous-traitance de la production d'une Supply Chain* ». Ce processus a été **analysé dans notre cas d'étude industriel** et les **indicateurs mesurant sa création de valeurs** ont été déterminés. **La robustesse du modèle par rapport aux données d'entrée pourra justifier la conception des processus conçus.** Cependant, en ce qui nous concerne, le temps relativement limité qui nous a été imparti concernant **le recueil des données** par rapport au temps de mise en place des processus ne nous a pas permis d'atteindre leur phase d'exploitation. La méthode ne pourra être validée qu'une fois ces données fournies et analysées. Concernant la généralité de la méthode, **l'idée est d'utiliser SCOS'M pour évaluer les actions à mettre en place en fonction des attentes de ses parties prenantes.**

3.3 Conclusions du chapitre 3

Dans ce premier chapitre, grâce à la méthode SCOS'M accompagnée des matrices MDM :

- Nous avons fait ressortir les **parties prenantes (PP)** et ses **valeurs attendues (AT)** à travers la « *Matrice 1 (M1) : Valeurs (AT) identifiées pour les parties prenantes (PP)* ». La liste des parties prenantes nous a permis de connaître le réel intérêt qu'elles attendent.
- Nous avons souligné les **indicateurs (i) pertinents pour mesurer les valeurs attendues (AT)** par les parties prenantes (PP). La « *Matrice 2 (M2) : Indicateurs (i) pertinents pour les valeurs attendues (AT)* » nous a permis de connaître les indicateurs pouvant mesurer les valeurs attendues. Cela a fait ressortir un indicateur très souhaité par les PP « **Livraison à temps fournisseur SOTD (On Time Delivery)** ».
- Nous avons constaté **quels sont les activités et les processus (ap) de la Sous-traitance qui sont mesurés par les indicateurs (i)** précédents à travers la « *Matrice 3 (M3) : Activités (ap) de la Sous-traitance mesurées par des indicateurs (i)* ». Après ce constat, **ces activités du processus de sous-traitance vont être analysées à travers les indicateurs de performance** qui évaluent l'efficacité de ses activités.
- Nous avons aussi fait ressortir les **ressources (r) consommées pour réaliser les activités et les processus (ap) de la Sous-traitance** à travers la « *Matrice 4 (M4) : Ressources (r) consommées par les activités (ap) de la Sous-traitance* ». Cela nous a permis de connaître si des ressources sont nécessaires pour mettre en œuvre ces activités (ap) de sous-traitance.

- Grâce aux quatre précédentes matrices, nous avons pu **identifier** (au sein du processus SST) **que la valeur attendue (AT) « Meilleure ponctualité fournisseur (livraisons à 95%) (AT9) » était prioritaire, et que cette AT est mesurée par son indicateur (i) associé « Livraison à temps fournisseur SOTD (Supplier On Time Delivery) ».**

Afin de satisfaire cette valeur en atteignant les performances au niveau attendu, nous allons approfondir dans le processus concerné l'étude de son indicateur. Ceci nous permettra de comprendre comment améliorer sa création, ou diminuer sa destruction, au travers d'une amélioration du processus en question. C'est l'objet des chapitres suivants. Le chapitre suivant nous permettra spécifiquement de répondre à la **2^{ème} question de recherche**. Nous y proposons **une méthodologie d'analyse de l'indicateur priorisé**. Sur cette base, des résultats sont présentés et discutés afin de comprendre les impacts qui sont à l'origine de dysfonctionnements générant de la destruction de valeur dans le processus étudié.

Chapitre 4 Traitement d'indicateurs priorisés: analyse de dysfonctionnements et simulation

Au **chapitre 3**, nous avons présenté la **modélisation systémique de la Supply Chain** basée sur la **méthode SCOS'M** laquelle nous a permis d'**identifier un indicateur** important à traiter en priorité « **Livraison à temps fournisseur (Supplier On Time Delivery)** ». Nous avons constaté que cet indicateur est très attendu par les parties prenantes du processus de sous-traitance de production.

Dans ce **chapitre 4**, nous proposons une **méthodologie pour analyser cet indicateur afin de réduire les dysfonctionnements** générateurs de destruction de la valeur attendue. Dans un **premier temps**, nous présentons **une analyse détaillée du processus sous-traitance** nous permettant de comprendre l'origine des dysfonctionnements qui peuvent impacter cet indicateur et qui font que sa performance ne soit pas au niveau attendu. Dans un **deuxième temps**, nous allons **simuler les causes provoquant les dysfonctionnements qui impactent négativement l'indicateur**, et nous allons quantifier leur influence.

Avant de présenter la méthodologie proposée, nous faisons appel à un état de l'art portant sur, dans un premier temps, les techniques existantes pour analyser les processus problématiques, et, dans un deuxième temps, les modéliser et les simuler.

4.1 Etat de l'art sur les traitements des indicateurs priorisés via l'analyse de causes et la simulation

Nous présentons les techniques que nous avons identifiées et ensuite, nous présentons celles que nous allons utiliser lors de ce chapitre 4.

4.1.1 Analyses des processus et ses indicateurs

Tout d'abord, au sein du chapitre 2 (section 2.1), nous avons déjà fait un premier état de l'art sur les méthodes pour représenter les processus où nous avons mentionné différentes techniques comme : l'**UML**, le **SysML**, le **SADT**, les **Logigrammes**, les **Diagrammes de transition d'état**, les **Diagrammes d'activités** et les **Diagramme de séquences**.

Parmi elles, nous avons choisi d'utiliser la méthode « **Logigramme ou Diagramme de flux** » (flowchart en anglais) pour représenter les processus analysés dans ce travail. Cette représentation a été montrée au chapitre 3 (voir figure 3.8) et ici nous allons détailler ce

processus à l'aide de la méthodologie proposée au sein de ce chapitre pour mieux comprendre l'origine des dysfonctionnements impactant l'indicateur à étudier.

Pour cela, nous allons faire un état de l'art sur les différents méthodes et outils qui existent pour analyser ces dysfonctionnements.

4.1.2 Analyses des dysfonctionnements de processus

Comme nous l'avons dit, notre cas d'étude concerne la Supply Chain, dans ce domaine plusieurs outils de qualité ont été identifiés pour analyser les dysfonctionnements de ses processus à travers la littérature.

Analyses de causes racines (CR)

Pour comprendre les actions (activités) qui limitent les processus (générant des dysfonctionnements) il est nécessaire d'en connaître leur origine. Pour cela, **le diagramme cause-effet**, ou autrement connu comme **Diagramme Ishikawa** en honneur à son développeur Dr. Kaoru Ishikawa, répond à cet critère (Ishikawa 1986).

L'intérêt de ce diagramme est d'identifier, explorer et montrer tous les possibles causes racines qui provoquent un problème. Ces causes sont typiquement catégorisés en groupes comme **les 6M's** (Man power, Machines, Methods, Materials, Measures, Mother nature), **les 4Ps** (Places, Procedures, People, Politics) ou **les 4S's** (Surrondings, Suppliers, Systems, Skills).

Les étapes pour réaliser un diagramme Ishikawa sont les suivants (Stojcetovic et al. 2013):

1. **Identifier le problème** : dans cette étape nous décrivons exactement le problème en détail en répondant à ces trois questions : quel est le problème ? qui est impliqué ? où et quand il apparait ?
2. **Travailler sur les principaux facteurs impliqués** : dans cette étape, nous identifions les facteurs qui peuvent contribuer au problème en utilisant les catégories 6M's, 4P's ou les 4S's afin d'avoir le maximum de facteurs possibles qui pourraient être à l'origine du problème analysé.
3. **Identifier les causes racines (CR) possibles** : dans cette étape, nous identifions les causes racines (CR) à l'aide d'un brainstorming avec les experts industriels ou à la suite des analyses quantitatives préalablement réalisés où montrent que des causes sont à l'origine du problème étudié.

4. **Analyser le diagramme construit** : dans cette étape, nous devons avoir un diagramme qui montre tous les possibles causes du problème traité. En fonction de la complexité et l'importance du problème, une analyse plus approfondie peut avoir lieu pour comprendre plus en détails les possibles sources racines du problème.

Nous avons construit avec les experts un diagramme du même type que celui de la figure 4.1 (il est illustré ultérieurement figure 4.9).

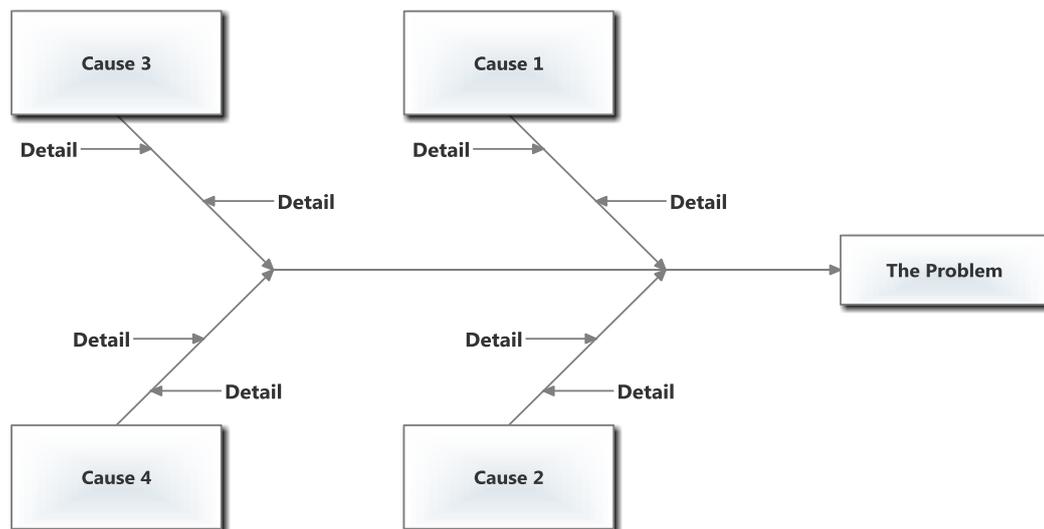


Figure 4.1 Exemple d'un diagramme Ishikawa (adapté de (Ishikawa 1986))

Après avoir catégorisé, les possibles causes racines (CR) qualitativement, nous passons à une quantification de ces CRs dans la section suivante.

Quantification des causes racines (CR)

Le graphique de Pareto est un outil très utilisée dans les approches de qualité. C'est un outil que nous trouvons dans les méthodologies telles que le Total Quality Management (TQM), Six sigma, Lean, ISO9000, entre autres. Il est très utilisé pour contrôler la qualité afin d'identifier les dysfonctionnements critiques qui mènent à une défaillance au sein d'un processus (Wilkinson 2006).

Visuellement, c'est un histogramme qui catégorise les dysfonctionnements et les classe par ordre décroissant en fonction de leur fréquence d'apparition (voir figure 4.2). Puis, le graphique fait correspondre les pourcentages cumulés de fréquence d'apparition des dysfonctionnements aux pourcentages de types de dysfonctionnements réparties en trois zones (Lyonnet 1991) :

- Zone A : dans la majorité de cas, 20% des dysfonctionnements représentent 80% des coûts, ceci est une zone des priorités.
- Zone B : dans cette tranche, les 30% des dysfonctionnements suivantes ne coutent que 15% supplémentaires.
- Zone C : enfin, dans cette tranche, les 50% des dysfonctionnements restants ne reviennent qu'à 5% des coûts.

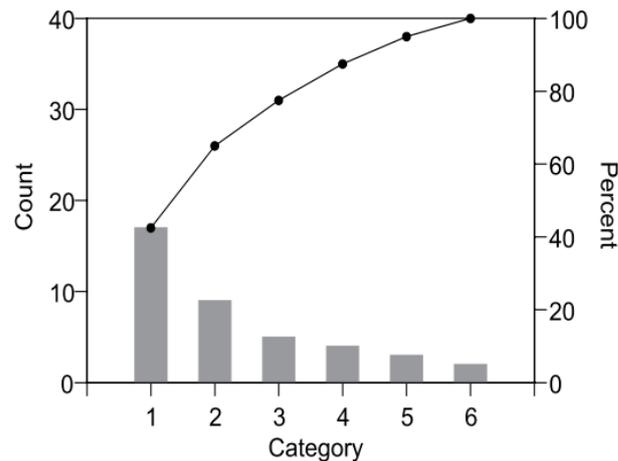


Figure 4.2 Diagramme de Pareto (Adapté de (Wilkinson 2006))

L'intérêt de cet outil est de traiter en priorité les dysfonctionnements correspondant à la zone A, puis les autres afin de les réduire. Il peut arriver que les priorités changent si les acteurs du processus sont intéressés pour approfondir l'analyse des dysfonctionnements qui appartient à la zone B ou C, dans ce cas-là, c'est par pondération qualitative que les dysfonctionnements seront réétudiés.

Passons maintenant étudier l'état de l'art pour la simulation de ces dysfonctionnements trouvés et quantifiés.

4.1.3 Modélisation et Simulation sous incertitudes dans la SC

Dans le but d'analyser finement les dysfonctionnements et leurs impacts au niveau du processus étudié, nous allons nous placer dans la suite de notre travail dans un cadre quantitatif de modélisation et de simulation de processus. Les dysfonctionnements y seront représentés par des incertitudes au niveau du système impactant l'indicateur. Ce cadre d'étude sous incertitudes a été choisi puisque, étant donné les dysfonctionnements, la prédiction du bon ou mauvais déroulement du processus ne peut pas être efficace: nous sommes en présence d'aléas.

Parmi les travaux présentant ces cadres quantitatifs, nous les divisons en deux parties. La première évoque les travaux sur la modélisation des systèmes sous incertitudes de façon générale. La deuxième partie, plus spécifiquement, évoque les travaux sur la simulation de Monte Carlo.

Cadre générique de modélisation des systèmes sous incertitudes

Le cadre général de la modélisation des systèmes sous incertitudes (Aven 2003; ISO 2008; Kaplan & Garrick 1981), s'applique aux systèmes pour qui dans une grande partie des situations il existe des risques et des sources d'incertitudes. Les considérations à prendre en compte pour ces systèmes sont les suivantes :

- Ce sont des **systèmes préexistants** (comme une Supply Chain existante située au cœur de notre étude) ;
- Qui ont une **variété d'actions** qui permet au manager de modifier et / ou de contrôler dans une certaine mesure les éléments impactant la performance du système (comme les quantités de produits achetés, les dates de l'OA de lancement, ...)
- Qui ont une **variété d'évènements incontrôlables** (des initiateurs externes, des dysfonctionnements internes, ...) ou plus généralement **tous les sources d'incertitude possibles** affectant la connaissance de l'état du système (comme les délais considérés sur lesquelles il y a des sources d'incertitude);
- Et qui ont des **enjeux liés à l'état du système** qui sont impliqués dans le processus de prise de décision motivant l'évaluation des risques et des incertitudes.

Toutes ces considérations sont représentées dans la figure 4.3.

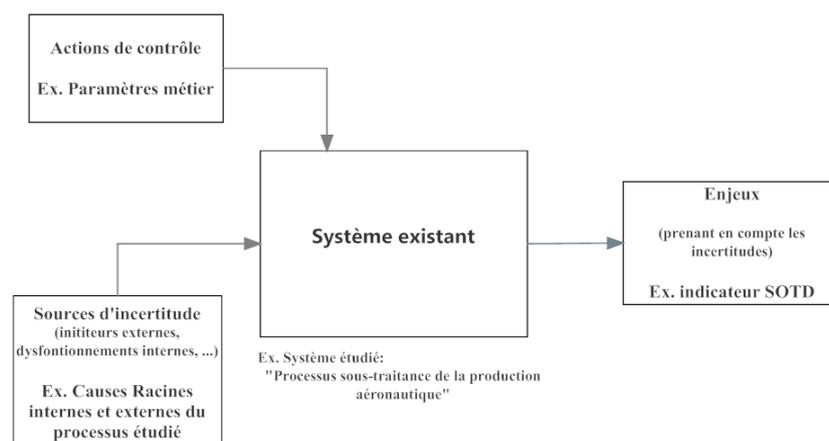


Figure 4.3 Situation général pour la modélisation sous incertitude (adaptée du (De Rocquigny 2011)

Ce type d'études sur les incertitudes est lié aux faits sous-jacents suivants :

- Pour certaines actions données l'état du système considéré, est imparfaitement connu à un moment donné.
- certaines caractéristiques de l'état du système se retrouvent intégrées dans un type donné de performance ou de conséquence, à fort enjeu pour le décideur. L'état du système peut aussi être caractérisé par un grand nombre d'indicateurs tels que des états discrets ou variables continues.

Comme dit précédemment, l'objectif de notre étude est de **quantifier l'impact des causes racines sur l'indicateur priorisé sélectionné (indicateur SOTD « Livraison à temps fournisseur »)**. Nous allons pour cela **étudier la propagation des dysfonctionnements dans notre système considéré pour comprendre les variations de son indicateur associé**.

C'est pourquoi nous utiliserons des techniques de simulation, à la suite de la modélisation de notre système sous incertitudes.

Etat de l'art sur la simulation dans la Supply Chain

En ce qui concerne les techniques de simulation appliquées à des processus business, (Jahangirian et al. 2010) classifie les travaux utilisant la simulation dans la Supply Chain en trois classes: a) Résolution de problèmes réel (138 papiers), b) Résolution de problèmes hypothétiques (122 papiers et c) Méthodologie (21 papiers), et les catégorise par leur domaine d'application (Planification de la capacité, Prévisions, Gestion des stocks, entre autres). Les techniques qui y sont citées sont : Simulation à évènement discret (DES), Dynamique des systèmes (SD), Agent-Based Simulation (ABS), Intelligent simulation, Monte Carlo Simulation (MCS), etc. **Parmi elles, seules la DES, l'Intelligent simulation et la simulation de Monte Carlo concernent des problèmes de niveau opérationnel à tactique qui nous intéressent.**

Bien que peu utilisée pour les problématiques de Supply Chain, la figure 4.4 nous montre effectivement que seulement 13 papiers (5%) ont utilisé la méthode de Monte Carlo, elle nous apparaît comme la plus appropriée à notre problématique. En effet, ce faible nombre relatif s'explique par le fait qu'une simulation par méthode de Monte Carlo nécessite de caractériser les variables du système de façon précise, ce qui requiert de définir des hypothèses qui peuvent parfois être restrictives. Or, les articles présentés ici utilisent pour la plupart un cadre de modélisation Supply Chain générique, dans lequel ces hypothèses restreignent

effectivement l'étude. C'est la raison pour laquelle d'autres méthodes sont privilégiées. Cependant, dans le cadre de notre étude, nous travaillons spécifiquement sur un process SC bien défini, celui de l'approvisionnement par sous-traitance. De plus, nous avons travaillé en direct avec notre partenaire industriel, ce qui nous a permis de définir un environnement d'analyse précis issu de données réelles. Ainsi, ce contexte nous a offert la possibilité de modéliser précisément le système étudié sous des hypothèses permettant d'effectuer une méthode de Monte Carlo. De surcroît, cette méthode reste plus facile à implémenter comparativement aux deux autres potentiellement adaptées, et est également plus flexible dans l'approche de modélisation.

Nous avons donc choisi pour ce travail d'implémenter la **simulation par Monte Carlo**.

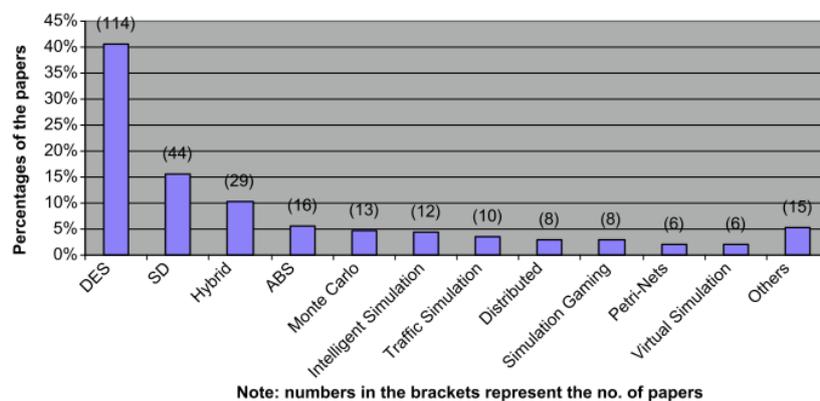


Figure 4.4 Pourcentage de papiers publiés par méthode de simulation utilisé (Jahangirian et al. 2010)

Nous allons par conséquent évaluer la sensibilité de notre variable d'intérêt de sortie aux incertitudes des variables d'entrée, en étudiant la propagation des aléas issus des dysfonctionnements par méthode de Monte Carlo.

Cette méthode consiste à générer un grand nombre d'observations des variables aléatoires en entrée et leur appliquer le modèle à chacune d'entre elles afin de traiter les résultats pour approximer des propriétés des variables d'intérêt de sortie, notamment la mesure de leur sensibilité associée (Robert & Casella 1999).

Deux types d'études de simulation de Monte Carlo appliqués au Supply Chain Management (SCM) existent: le premier utilise la simulation de Monte Carlo pour quantifier une prise de décision et le deuxième l'utilise pour quantifier le risque et/ou la variabilité d'une variable d'intérêt. Dans le premier type, une variable de contrôle est définie, dans le second, la distribution de l'output seule est étudiée.

Le tableau 4.1 nous illustre quelques travaux sur l'application de la simulation de Monte Carlo dans les domaines : Management des Risques (RM) (Deleris & Erhun 2005; Singh & Schmitt 2009; Mangla et al. 2014) et Gestion des stocks (IM) (Zabawa et al. 2007).

Pour notre étude, nous nous plaçons dans la 2^{ème} catégorie, dans laquelle notre objectif est de quantifier l'impact des causes racines sur l'indicateur priorisé « SOTD ». En effet, il s'agit ici de comprendre le risque associé à ces dysfonctionnements, sans pour autant vouloir le contrôler (en tout cas dans ce chapitre).

Plus spécifiquement, notre modèle utilisera en entrée, les sources d'incertitudes, les dysfonctionnements et leurs caractéristiques, qui impactent les délais réels observés dans le processus étudié. L'output sera l'indicateur priorisé SOTD, et le risque mesuré sera sa sensibilité aux dysfonctionnements.

Référence (auteur)	Domaine	Niveau décisionnel dans la SC	Catégorie d'étude	Considérations à prendre en compte pour modéliser un système sous incertitude		
				Input Sources d'incertitudes	Actions de contrôle Variables de contrôle	Output Enjeux
(Deleris & Erhun 2005)	RM	Stratégique	1	Interruptions d'un sous-ensemble de constituants de la SC	SC Network Design (Définition des capacités du network)	Volume de produits (Risque de « perte » des ventes)
(Zabawa et al. 2007)	IM	Tactique	1	Demande (en probabilité)	Quantité de lancement de production	Coûts
(Singh & Schmitt 2009)	RM	Tactique	1	Rupture ou arrêt définitif d'une ou de plusieurs étapes dans la SC	Planning de Production	Taux de service (Quantité de produits livrés)
(Mangla et al. 2014)	RM	Opérationnel	2	Défaillances de machines, problèmes d'IT, manque de compétences des opérateurs, ...	aucun* (catégorie 2 : Evaluation des risques)	Retards dans les délais, problèmes de qualité de produits, blessures de santé des opérateurs, augmentation du coût, ...

Tableau 4.1 Récapitulatif des articles traitant la modélisation sous incertitude (élaboré par l'auteur)

* : papier dont l'objectif est exclusivement de quantifier les risques et non pas de les maîtriser (catégorie 2)

D'une façon générale, nous retenons de cet état de l'art :

- Les méthodes pour **représenter et analyser les processus et ses indicateurs : le logigramme ou le diagramme de flux.**

- Les outils de qualité pour **catégoriser et quantifier les dysfonctionnements** de processus étudié : le **diagramme Ishikawa** et le **graphique de Pareto**.
- Les méthodes de **modélisation sous-incertitudes** et la **simulation de Monte Carlo** dans la **Supply Chain**.

Tous ces outils et méthodes sont présentés sous forme d'une méthodologie pour analyser les indicateurs priorités, dans la section suivante.

4.2 Méthodologie proposée pour analyser les indicateurs priorités

Nous proposons ici une méthodologie pour analyser les dysfonctionnements impactant les indicateurs priorités, les classer et mesurer leur sensibilité. Ceci nous permettra ensuite de proposer et de prioriser des actions adéquates aidant à l'amélioration des performances du système (chapitre 5).

Cette **méthodologie a donc pour objectif d'analyser les dysfonctionnements générateurs de destruction de la valeur attendue**. Elle est composée de **deux parties (voir figure 4.5)**.

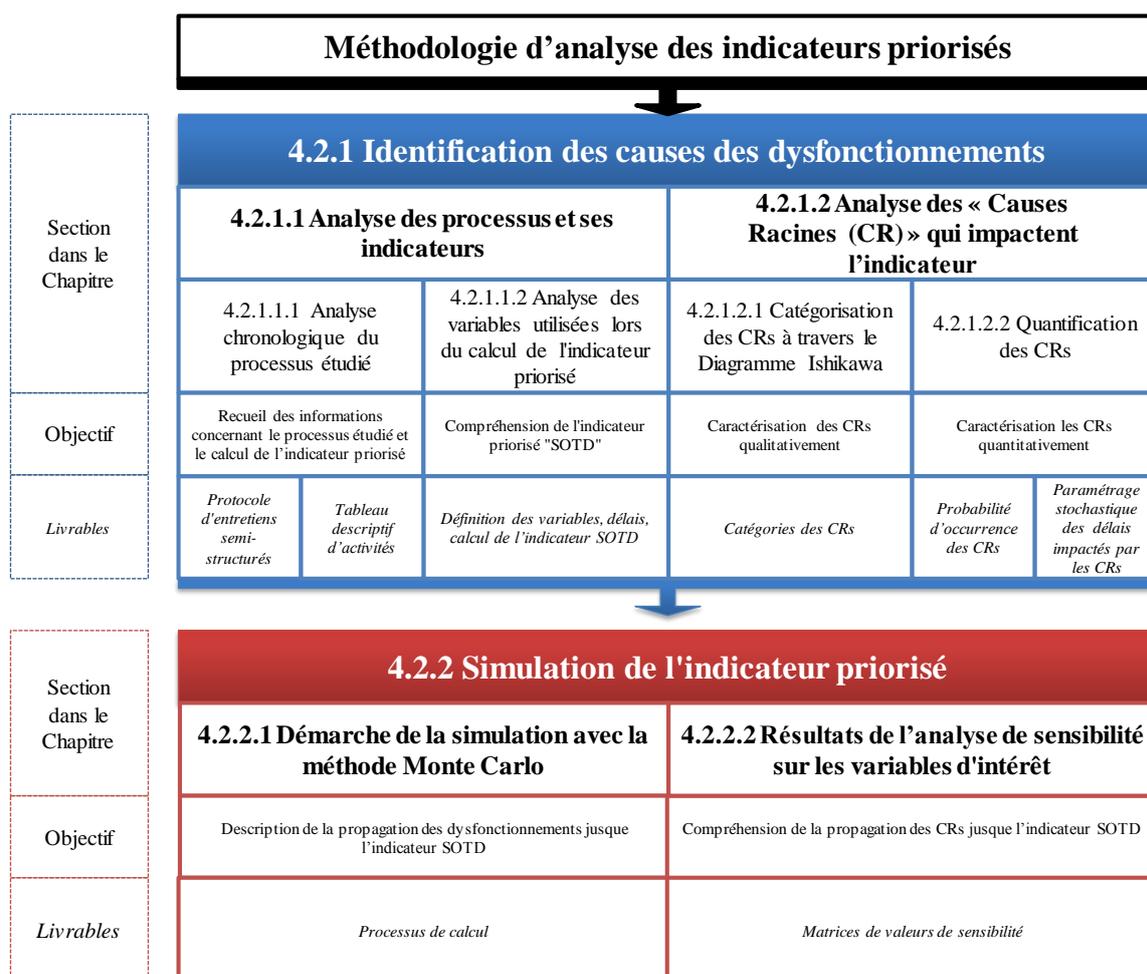


Figure 4.5 Méthodologie pour analyser les indicateurs priorités

La **première** consiste à **identifier les causes de dysfonctionnements** produits au sein du processus étudié et qui impactent négativement l'indicateur priorisé. Nous y présentons des analyses détaillées du processus sous-traitance et de son indicateur priorisé pour comprendre l'origine des dysfonctionnements qui peuvent impacter négativement sa performance. La **deuxième partie** consiste à **simuler les causes provoquant les dysfonctionnements** pour quantifier leur influence sur l'indicateur attendu.

Nous commençons par la première partie de cette méthodologie.

4.2.1 Identification des causes des dysfonctionnements

Cette identification des causes des dysfonctionnements est issue de **deux analyses**. La **première analyse** consiste à comprendre comment le processus est constitué en détails, à la fois d'un point de vue qualitatif, c'est-à-dire quelles sont les activités qui interviennent, et également d'un point de vue quantitatif, c'est-à-dire quelles sont leurs variables associées et comment elles sont calculées. La **deuxième analyse** consiste à rechercher, identifier, et quantifier les origines potentielles des dysfonctionnements, appelées les **causes racines**, qui impactent l'indicateur étudié.

Ces deux analyses complémentaires nous permettront ainsi de **mettre en relief les caractéristiques des étapes clés du processus qui engendrent les mauvaises performances de l'indicateur priorisé**.

Passons tout d'abord à la première analyse qui étudie le processus, ses caractéristiques, et ses variables.

4.2.1.1 Analyse des processus et ses indicateurs

Nous proposons donc ici une première **analyse du processus « Sous-traitance » et de ses indicateurs**. Afin de décrire complètement les caractéristiques de ce processus, cette analyse est divisée en deux parties :

La **première partie** consiste à **comprendre qualitativement le processus** de façon détaillée au travers d'une analyse chronologique des différentes activités réalisées. Pour cela, nous proposons tout d'abord **un protocole d'entretiens semi-structurés** afin de recueillir des informations de la part des acteurs impliqués. Ensuite, nous récapitulons toutes les informations obtenues lors de ces entretiens dans **un tableau descriptif des activités** donnant tous les détails de chaque étape. Ces informations sont également résumées dans un

graphique « TIMELINE » basé sur la séquence des activités réalisées et les informations à retenir.

La **deuxième partie** consiste à identifier **les variables quantitatives impliquées dans le calcul des indicateurs priorisés** détectées dans le graphique TIMELINE de la première partie.

4.2.1.1.1 Analyse chronologique du processus étudié

Cette analyse est constituée de trois étapes que nous détaillerons dans les points suivants.

Etape 1 : Protocole pour les entretiens semi-structurés avec les différentes parties prenantes qui interviennent dans le processus étudié

Nous avons réalisés des **entretiens semi-structurés avec les différentes parties prenantes** (PP) qui interviennent dans les activités du processus et qui sont intéressés par ces indicateurs. Ces PP (Acheteurs, Approvisionneurs, Planeurs, Sous-traitants, ...) ont été détectées lors d'application de la méthode SCOS'M développée au chapitre 3 (section 3.2.3.1).

L'objectif de ces entretiens est de collecter des informations concernant le processus pour avoir une **connaissance approfondie des activités réalisées**, notamment sur les actions exécutées, leurs indicateurs associés, les responsabilités et la temporalité de chaque étape.

Pour cela, nous avons suivi le protocole des entretiens proposé au sein du chapitre 3 (montré en figure 3.3) et nous avons construit une fiche pour guider nos entretiens semi-structurés (voir figure 4.6).

Ces fiches nous ont donc permis d'accroître notre base de connaissance des caractéristiques opérationnelles, notamment avec de larges points de vue métier, nous donnant une image complète et exhaustive du processus étudié.

Les informations obtenues nous ont permis d'acquérir la connaissance nécessaire pour passer à l'étape d'après. Nous avons en effet pu découvrir quels sont les acteurs associés à chaque sous-processus de la sous-traitance, ainsi que toutes les informations liés aux dysfonctionnements causés au sein de chaque activité et leur impact sur les indicateurs clés de performance mesurés.

Fiche pour entretien semi-structuré N°X							
Date :				Réalisé par:			
Interviewé :	Prénom, Nom			responsable de processus:	Y		
E-mail :				Duration :			
Lieu :	Bâtiment:			étage			
	Site entreprise:	SiC	BZS	MAS	MES	ARG	SEN
	Externe (sous-traitant):						
Déroulement de l'entretien							
Cet entretien, est-il une suite à une autre entretien semi-structuré? Oui, la quelle? N° _____ Non							
Sujet de l'entretien :							
Questions/ Réponses							
<i>Axe 1: Processus</i>							
1. Quel est le processus auquel vous intervenez?							
2. Comment-il fonctionne?							
3. Quels informations a-t-il besoin en amont pour fonctionner?							
4. Quels informations produit-il une fois finalisé toutes les taches du processus et à qui servent?							
5. Quels sont les indicateurs mesurés pour voir l'efficacité du processus ?							
6. Comment ces indicateurs sont-ils calculés ?							
7. Qui est responsable de mettre à jour ces indicateurs?							
<i>Axe 2: Dysfonctionnements liés au Processus</i>							
8. Existe-t-il des dysfonctionnements au sein du processus?							
9. Si oui, lesquels? De quel type et comment sont-ils classés et quantifiés?							
10. Existe-il des actions pour corriger/prévenir ces dysfonctionnements?							
11. Quelles actions sont mise en place pour l'identifier les problèmes ?							
12. Qui est responsable de mener ces actions en place?							
Observations							

Figure 4.6 Fiche modèle pour les entretiens semi-structurés

Etape 2 : Tableau descriptif des activités qui contribuent au calcul des indicateurs

La **deuxième étape** consiste à synthétiser toutes ces informations dans un **tableau descriptif explicitant tous les détails d'exécution de chaque activité réalisée** (voir tableau 4.2) : actions réalisées, temporalité de ces actions, informations en entrées/sorties, système d'information utilisé, acteurs impliqués.

A titre d'exemple, pour l'activité Timeline SST « Gérer les données techniques », appartenant au Processus « Se procurer » et à l'activité « Elaborer et gérer les données Techniques de procurement » ainsi qu'aux sous-activités « Créer et mettre à jour la base des articles approvisionnés et Elaborer et gérer les listes de structurées d'articles approvisionné/listes de prestations », nous avons pu savoir quel est le délai donné par l'entreprise pour la mise à jour d'une nomenclature (SST = 0,5 à 1 jour, égal à 7h travaillées) et le coût de cette mise à jour (SST = 74€ par heure). De plus, nous avons pu également connaître les acteurs qui interviennent, que sont la DOI et les Fournisseurs, et finalement les informations produites concernent les données techniques de définition, la nomenclature de production, les données

d'approvisionnement, les données fournisseurs et la nomenclature de composants et de la matière d'approvisionnement.

Le tableau complet est présenté en annexe B.2.1.1.

Cette liste exhaustive des détails d'exécution de chaque activité du processus impactant l'indicateur priorisé nous renseigne par conséquent sur **les caractéristiques concrètes (qui fait quoi, où, quand, et comment) de potentielles étapes jouant négativement sur l'indicateur priorisé.**

Information générale	Activité Timeline SST	Sous-Processus 1	Sous-Processus 2	...	Sous-Processus n
Processus	<i>Processus Dassault</i>				
	<i>Activité Dassault</i>				
	<i>Sous-Activité Dassault</i>				
Indicateurs Processus	Indicateurs Processus				
	Qualité				
	Délai				
	Coûts				
	Situation Initiale				
	Situation Finale				
	<i>A. Analyse processus</i>				
A. Analyse du Processus	1. Acteurs				
	-Acteurs				
	-Informations				
	-Outils				
	-Actions				
	2. Informations				
	3. Comment les infos sont traités?				
	3.1 Quelles opérations (sur les informations)?				
	3.2 Avec quels outils (SI / Opérationnel)?				
	4. Définir les actions (logistique/production)				
5. Quand chaque acteur traite chaque information et quand fait chaque action					
B. Sources de problèmes	<i>B. Sources de Problèmes</i>				
	1. Quels sont les difficultés rencontrés pendant le déroulement du processus?				
	-Causes Racines				
	-Actions à faire				
	-Outils utilisés				
-Actions	4. Quelles actions ont été mis en place pour résoudre ces difficultés?				
	5. Ont-elles impactés d'autres processus/acteurs dans la supply chain?				

Tableau 4.2 Description des activités qui contribuent au calcul des indicateurs

Étape 3 : Construction de la TIMELINE

La **troisième étape** consiste à représenter les informations issues des étapes 1 et 2 au travers d'un **graphique chronologique « TIMELINE »** afin de donner la **séquence des activités** réalisées et les informations à retenir.

Nous reprenons les détails du logigramme du processus (voir chapitre 3 section 3.2.3.3 figure 3.8) ainsi que les informations obtenues lors des entretiens (étape 1) et leur récapitulatif (étape 2). Ainsi, nous identifions à chaque étape du processus les informations clés (dates, délais et paramètres industriels utilisés) pour dérouler le processus, explicité ci-dessous :

Le processus « SST » (voir figure 4.7) décrit ici est composé de toutes les étapes qui doivent se réaliser pour déboucher sur la livraison, la réception et la mise à disposition des pièces correspondant aux ordres d'achat (OA) afin d'approvisionner les sites de production de l'entreprise.

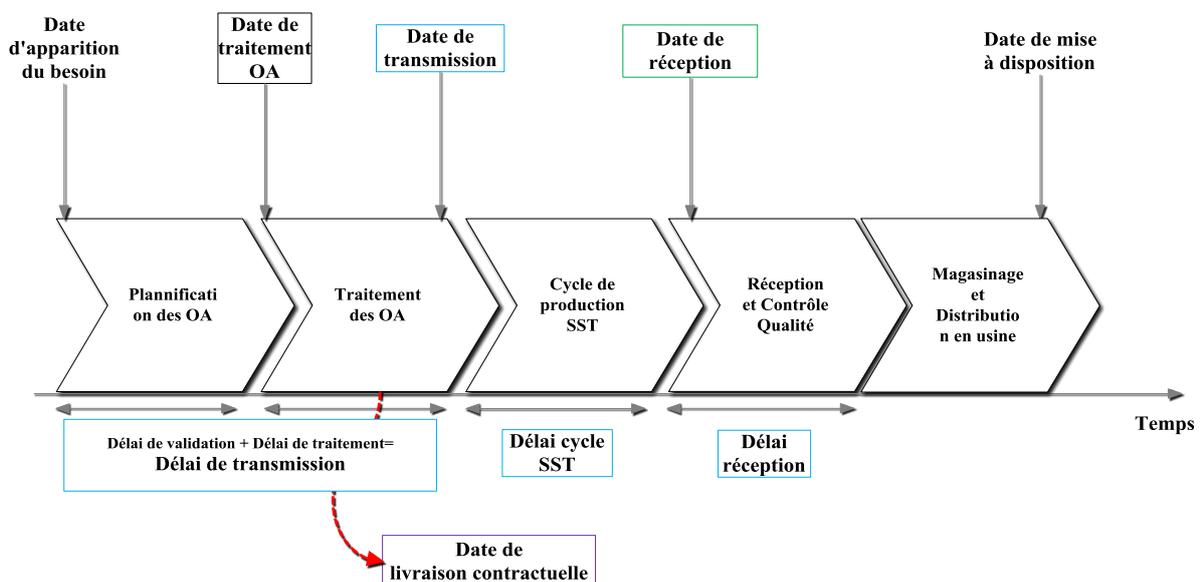


Figure 4.7 Représentation TIMELINE du processus de sous-traitance

Il commence au moment où une date de besoin est lancée par la planification (niveau PGP, Plan Général de Production). Cet instant déclenche la suite du processus : le besoin est transmis, puis traité afin de générer un OA correspondant. La date de traitement est enregistrée et l'OA est ensuite transmis au sous-traitant avec la date de livraison contractuelle calculée comme suit :

$$\begin{aligned} \text{Date de livraison contractuelle} = & \text{Date de traitement} \\ & + \text{délai de transmission théorique} \\ & + \text{marge} \\ & + \text{délai de production théorique} \\ & + \text{délai de réception théorique} \end{aligned}$$

La marge est une donnée comprise entre 5 et 10 jours selon les fournisseurs et le type de système d'information utilisé pour l'approvisionnement, et est utilisée ici dans le but de prendre en compte des potentiels aléas dans l'exécution des opérations.

Les délais théoriques utilisés ici correspondent à des données prévisionnelles issues de l'expérience métier des acteurs impliqués dans le processus, ou à des données contractuelles négociées en amont du processus (pour le cycle de production notamment). Celles-ci sont enregistrées dans les bases de données et disponibles pour les acteurs du processus au moment du calcul.

Une fois l'OA transmis, le cycle de production est lancé, jusqu'à livraison et réception des pièces à l'usine à approvisionner définie dans l'OA.

A l'issue du processus, la date de réception des pièces est la date finale enregistrée comme marquant la fin des activités du processus « SST ». Elle est calculée comme suit :

$$\begin{aligned} \text{Date de réception} = & \text{Date de traitement} \\ & + \text{délai de transmission} \\ & + \text{délai de production} \\ & + \text{délai de réception} \end{aligned}$$

Ici, les délais utilisés sont les délais réels observés au moment de l'exécution du processus. Il peut y avoir des écarts par rapport aux délais théoriques, dus aux aléas, aux dysfonctionnements, etc. pendant le déroulement du processus, ce qui génère un écart entre les attentes et le réalisé, perturbant l'indicateur priorisé.

Dans la suite de notre étude, nous considérons donc ces variables (délais et dates) qui contribuent au calcul de l'indicateur SOTD.

Conclusion de la partie 4.2.1.1.1 :

L'analyse chronologique qualitative nous renseigne finalement complètement sur les détails du processus, à la fois au niveau temporel, les actions réalisées, les acteurs impliqués, les variables utilisées, leurs rôles et leurs calculs associés. **Cette mise en perspective** nous épaulera tout d'abord **dans la recherche des causes des dysfonctionnements** dans la section 4.2.1.2, et ensuite **sur les actions à mettre en place** afin d'y remédier dans le chapitre 5 en identifiant **les caractéristiques potentiellement sources de ces dysfonctionnements**.

Nous poursuivons notre analyse du processus dans un cadre quantitatif dans la section suivante.

4.2.1.1.2 Analyse des variables utilisées lors du calcul des indicateurs

Cette deuxième partie d'analyse consiste à **identifier les variables qui interviennent dans le calcul de l'indicateur « Livraison à temps fournisseur (Supplier On Time Delivery) »**

Au sein du processus considéré, et de façon générale, l'indicateur « SOTD » se calcule théoriquement de la manière suivante :

$$SOTD = \frac{\text{Nombre de lignes d'échéance et livrées complètes à l'heure sur la période}}{\text{Nombre de lignes d'échéance attendues sur la période}}$$

Comme nous l'avons vu précédemment, des aléas et/ou dysfonctionnement peuvent causer des écarts entre les délais théoriques utilisés dans le calcul de la date de livraison contractuelle et les délais réellement observés, impactant directement la date de réception. Ce sont ces écarts qui sont synthétisés dans le calcul de l'indicateur SOTD présenté ci-dessus. Celui-ci permet donc de connaître le nombre d'OAs qui sont à l'heure ou en retard par rapport à ce qui était attendu pour la période d'analyse. Pour le calculer, nous utilisons les variables que nous avons détectées dans le graphique TIMELINE (section 4.2.1.1.1). Nous distinguons :

1. **Les délais et dates théoriques** : ici nous trouvons plusieurs dates et délais (Lead Time : LT) théoriques trouvés dans les bases de données de l'entreprise (ERP), ou signés contractuellement avec les sous-traitants :
 - LT SST théorique
 - LT transmission théorique (LT validation + LT traitement)
 - Marge
 - LT réception théorique

Issue de ces délais et de la date de traitement, nous obtenons une « **Date de Livraison Contractuelle** », transmise au sous-traitant au moment de l'envoi de l'OA.

2. **Le processus réel** : ici nous trouvons tous les dates et délais réels qui ont été enregistrés dans la base de données de l'entreprise (ERP) tout au long du déroulement du processus.
 - Date de traitement
 - Date de transmission réelle
 - Délai de transmission réel (Délai de validation + Délai de traitement réel)
 - Délai cycle SST réel
 - Délai réception réel

Issue de tous ces délais et dates réels, nous avons une « **Date de réception réelle** ».

Si nous traduisons la façon de calculer l'indicateur avec les variables que nous avons détectées, nous allons comparer si la « **Date de réception réelle** » est égale à la « **Date de Livraison Contractuelle** ».

Cette comparaison sur un ensemble d'OA, nous permettra connaître le pourcentage d'Ordre Achat (OA) sous-traités qui sont à l'heure ou en retard de la façon suivante :

- **Un OA est à l'heure** lorsque : la date réception réellement enregistrée (**Date de réception réelle**) est égale à date de réception souhaitée calculée au moment de la création de l'OA (**Date de Livraison Contractuelle**).
- **Un OA est en retard** lorsque : la **Date de réception réelle** est supérieure à la **Date de Livraison Contractuelle** qui correspond à la date de réception souhaitée calculée au moment de la création de l'OA.

Aussi, nous considérons qu'un retard d'un OA, dans le processus de production/distribution de la pièce achetée, est dû à des « dysfonctionnements » métier (*i.e.* Supply Chain) retardant les opérations correspondantes. Cela signifie qu'il y a un problème dans un de ces délais. Lorsque ces problèmes apparaissent, ils impactent donc l'indicateur SOTD.

L'identification d'un délai source de problème permet donc de se focaliser sur l'analyse métier d'opérations spécifiques des activités correspondantes dans le processus sous-traitance.

Ces problèmes métier sont des « causes racines (CR) » du retard identifiés.

Nous passons dans la suite de cette étude à l'approfondissement des sources potentielles de ces problèmes.

Nous pouvons conclure issue de cette analyse de variables utilisées lors du calcul des indicateurs que :

- **Nous avons identifié les variables que nous allons utiliser pour notre simulation impactant l'indicateur priorisé.**
- **Aussi, nous pourrions identifier le lien entre les causes racines (CR), les variables impactantes, et les détails des opérations correspondantes.**

Une fois le processus et son indicateur décrit précisément, nous allons pouvoir, dans la section suivante, recentrer notre analyse sur les différentes sources potentielles des problèmes qui impactent l'indicateur SOTD.

4.2.1.2 Analyse de « causes racines (CR)» impactant l'indicateur priorisé

Cette analyse des causes racines est divisée en deux étapes. La **première étape** concerne **l'identification et la catégorisation des causes racines (CR)** suite à un recueil d'informations réalisé auprès des experts industriels, et des entretiens réalisés précédemment. Cette catégorisation est finalement représentée à travers un « **Diagramme Ishikawa** » construit (voir ci-après figure 4.9) lors des réunions de travail avec les experts.

La **deuxième étape** concerne la **quantification des causes racines (CR)** identifiées précédemment à travers **leur fréquence d'apparition et la gravité des leurs impacts** pour essayer de comprendre la façon dont elles impactent l'indicateur au sein du processus sous-traitance.

Passons d'abord à la catégorisation des causes racines via le recueil des informations des experts industriels.

4.2.1.2.1 Catégorisation des causes racines à travers le diagramme Ishikawa construit avec les avis des experts

Dans cette première étape de catégorisation, nous avons recueillie les informations en se basant sur les quatre étapes pour réaliser un diagramme Ishikawa (Stojcetovic et al. 2013) présentées en section 4.1.2.

La **première étape** a été d'**identifier le problème final**. Dans notre cas, nous considérons le problème de mauvaise performance de l'indicateur priorisé SOTD. L'analyse précédente du processus (section 4.2.1.1) nous a permis de **repérer les acteurs impliqués et de comprendre précisément les détails temporels et organisationnels de la chaîne causes/conséquences** débouchant sur le problème en question.

La **deuxième étape** a été de **travailler sur les principaux facteurs impliqués**. Pour cela, nous avons dans un premier temps réutilisé l'analyse chronologique précédente de la façon suivante : dans les entretiens semi-structurés présentés précédemment et effectués auprès des acteurs du process, une section était dédiée à la performance des opérations menées par les interrogés (présentée ci-après en encadré rouge dans la figure 4.8).

Le recueil de ces informations nous a permis de construire une première liste de dysfonctionnements. Ensuite, des avis d'experts nous a permis d'agrandir cette liste afin d'en dégager une synthèse. A chacun des problèmes listés est associée une étape du processus. Ainsi, finalement, puisque l'analyse précédente (4.2.1.1.1) détaille chaque étape et opérations du processus d'un point de vue qualitatif et quantitatif, nous en déduisons les renseignements sur **les potentiels facteurs clés causant chacun des dysfonctionnements** considérés.

Dans un deuxième temps, nous utilisons en parallèle l'analyse classique des 6M's, 4P's ou les 4S's afin de conclure quant à l'exhaustivité des facteurs des dysfonctionnements. Ces différents facteurs ont été catégorisés dans l'étape suivante.

Fiche pour entretien semi-structuré N°X							
Date :				Réalisé par :			
Interviewé :	Prénom, Nom			responsable de processus:	Y		
E-mail :				Duration :			
Lieu :	Bâtiment:			étage			
	Site entreprise:	StC	BZS	MAS	MES	ARG	SEN
	Externe (sous-traitant):						
Déroulement de l'entretien							
Cet entretien, est-il une suite à une autre entretien semi-structuré? Oui, la quelle? N° _____ Non							
Sujet de l'entretien :							
Questions/ Réponses							
<i>Axe 1: Processus</i>							
1.	Quel est le processus auquel vous intervenez?						
2.	Comment-il fonctionne?						
3.	Quels informations a-t-il besoin en amont pour fonctionner?						
4.	Quels informations produit-il une fois finalisé toutes les taches du processus et à qui servent?						
5.	Quels sont les indicateurs mesurés pour voir l'efficacité du processus ?						
6.	Comment ces indicateurs sont-ils calculés ?						
7.	Qui est responsable de mettre à jour ces indicateurs?						
<i>Axe 2: Dysfonctionnements liés au Processus</i>							
8.	Existe-t-il des dysfonctionnements au sein du processus?						
9.	Si oui, lesquels? De quel type et comment sont-ils classés et quantifiés?						
10.	Existe-il des actions pour corriger/prévenir ces dysfonctionnements?						
11.	Quelles actions sont mise en place pour l'identifier les problèmes ?						
12.	Qui est responsable de mener ces actions en place?						
Observations							

Figure 4.8 Fiche modèle pour les entretiens semi-structurés

La troisième étape a été d'identifier les causes racines (CR) possibles. Dans notre cas, à l'issue des réflexions précédentes, **nous avons détectés 10 possibles facteurs (causes racines) différents** (CR1, CR2, CR3, CR4, CR5, CR6, CR7, CR8, CR9 et CR10).

La figure 4.9 nous montre les CR identifiés dans notre cas d'étude. A titre d'exemple nous trouvons la « CR1 : Aléas qualité produit » appartenant à la catégorie magasin et la « CR9 : Ordre qui ne respecte pas les délais contractuel » dans la catégorie commandes.

Une fois les causes potentielles de dysfonctionnement identifiées, nous les avons regroupées dans des **catégories génériques** comme : **commandes, planification, magasin et données techniques.**

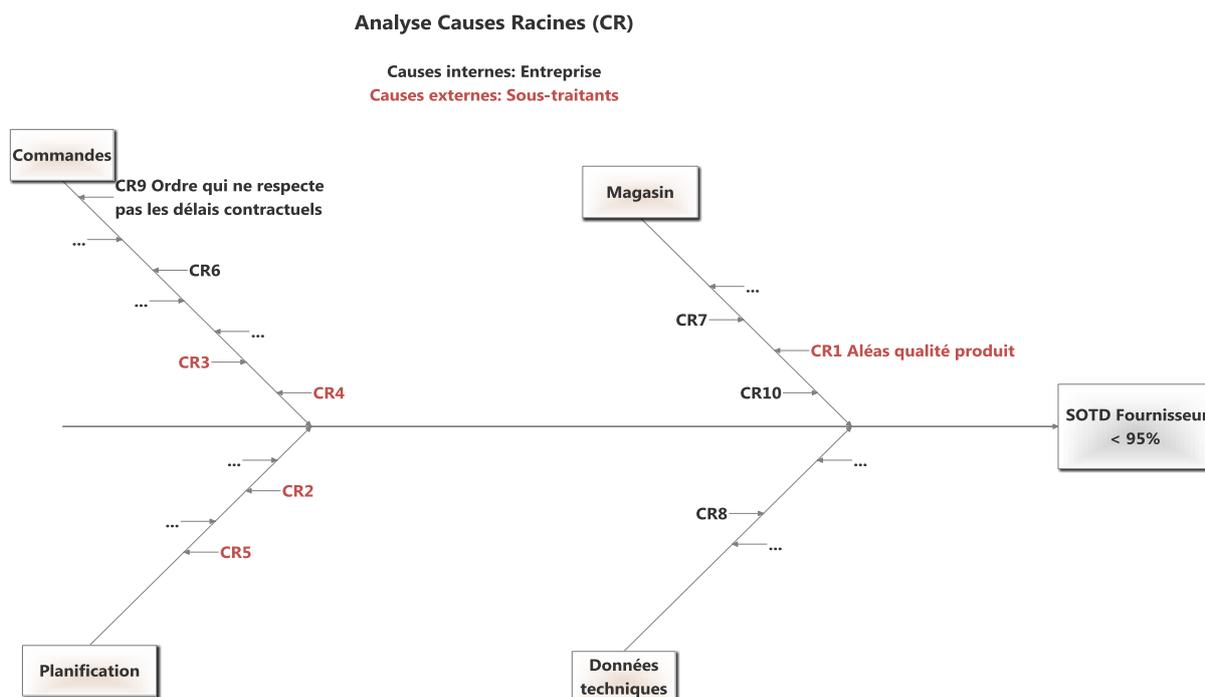


Figure 4.9 Diagramme Ishikawa sur les causes racines qui impactent l'SOTD Sous-traitant

Nous avons donc associé ces causes racines à ces **quatre catégories différentes** (voir tableau 4.3). Pour la catégorie de « **Planification** », nous avons considéré des problèmes d'ERP/MRP et d'adéquation charge-capacité. Pour la catégorie « **Données techniques** », nous avons considéré des problèmes concernant la documentation technique non disponible à temps.

Catégorisation de Causes Racines (CR) – Retard livraisons	
Causes Racines Sous-traitant	Causes racines Dassault Aviation
CR1 Magasin	CR6 Commandes
CR2 Planification	CR7 Magasin
CR3 Commandes	CR8 Données techniques
CR4 Commandes	CR9 Commandes
CR5 Planification	CR10 Magasin

Tableau 4.3 Catégorisation de causes racines qui impactent l'SOTD sous-traitant

Pour la catégorie « **Commandes** », nous avons regroupé des causes liées à l'approvisionnement et à la renégociation des commandes et ses délais. Pour la catégorie

« **Magasin** », nous avons pris en compte tout ce qui est lié aux litiges à la réception et à la qualité des produits reçus.

La quatrième étape a été d'analyser le diagramme construit pour nous assurer que le diagramme montre tous les possibles causes racines (CR) du problème traité.

L'identification des causes racines et leur catégorisation a donc été possible grâce à l'analyse chronologique et la procédure de construction du diagramme d'Ishikawa. Les avis d'experts nous ont finalement confirmé l'exhaustivité des causes racines.

Aux vues de la complexité et de l'importance du problème, nous avons décidé d'approfondir ces catégories de CR en mesurant leur fréquence d'apparition pour comprendre plus en détails leur origine.

Dans la partie suivante, nous allons mener une analyse pour quantifier leur fréquence d'apparition au sein du processus étudié.

4.2.1.2.2 Quantification des causes racines (CR)

La quantification des causes racines a été effectuée selon les deux caractéristiques standards de gestion des risques qui sont : leur fréquence d'apparition et la gravité de leurs impacts.

Fréquence d'apparition (Probabilité d'occurrence)

Nous allons construire un histogramme qui catégorise les CRs et les classe en fonction de leur fréquence d'apparition décroissante en se basant sur la figure 4.2 présentée dans l'état de l'art (section 4.1.2). La quantification a été possible grâce à un recueil de données réelles auprès de l'entreprise. Nous avons mis en place une démarche de collaboration avec les sous-traitants pour nous renseigner sur les types des causes racines et pouvoir identifier leurs sources (internes ou externes à l'entreprise).

Cette démarche collaborative a été lancée par le responsable de sous-traitants (voir figure 4.10). Un Dossier d'Echange (DE) est envoyé par le responsable des sous-traitants (SST) à tous les sites de production. Ensuite, ce « DE » est renseigné par les sites des productions pour déclarer qui est à l'origine des causes racines (CR). Une fois rempli, celui-ci est envoyé aux SST afin qu'ils le renseignent et le corrigent si nécessaire. Enfin, il est renvoyé au responsable sous-traitant pour regrouper tous les résultats.

Dans cette figure 4.12, nous pouvons observer que **les causes « CR2, CR7 et CR4 » représentent plus de 40% de fréquences d'apparition sur l'ensemble des OA analysés.** Cela signifie que nous devons essayer de comprendre d'où elles proviennent pour les réduire en priorité. **La CR7 provient de l'entreprise (Magasin) et les deux autres CR2 et CR4 du sous-traitant (Commandes et Planification).**

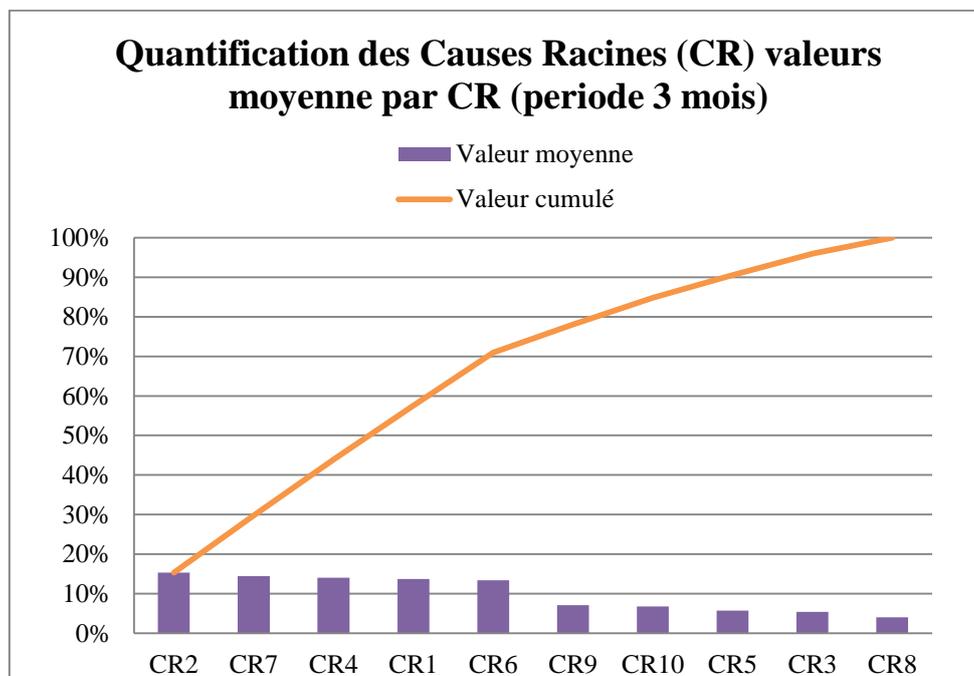


Figure 4.12 Diagramme de Pareto pour quantifier des causes racines

Pour mieux comprendre les causes racines, nous devons étudier la gravité d'impact pour chacune de ces causes quantifiées.

Gravité des impacts des causes racines

Dans le contexte d'étude de l'indicateur priorisé « SOTD », l'analyse des impacts des causes racines portent spécifiquement sur une quantification de leurs effets au niveau **des délais du processus** présentés en 4.2.1.1.

Tout d'abord, nous avons identifié les délais et dates potentiellement impactés par chaque cause racine grâce à l'analyse des variables présentée dans la section 4.2.1.1. Ensuite, nous avons effectué une **matrice CR / délais et dates impactés** représentée par le **tableau 4.4**. A titre d'exemple nous pouvons voir que « si la CR1 apparait, alors, la variable impactée sera le délai cycle SST ».

Matrice CR / délais et variables impactées		
Cause Racine (CR)	Catégorie CR regroupée	Variable impactée
CR1	Commandes	délai cycle SST
CR2	Commandes	délai cycle SST
CR3	Magasin	délai cycle SST
CR4	Planification	délai cycle SST
CR5	Planification	délai cycle SST
CR6	Commandes	délai transmission OA
CR7	Magasin	délai transmission OA
CR8	Données et techniques	délai transmission OA
CR9	Commandes	marge
CR10	Magasin	délai réception

Tableau 4.4 Matrice CR / délais et variables impactés

A l'issue de cette matrice, **nous avons pu comprendre, lorsqu'une CR apparait dans le processus, quelle sera sa partie spécifique altérée.**

Par la suite, nous avons dû trouver **une démarche pour pouvoir quantifier ces altérations.** Pour ce faire, **une analyse quantitative sur l'ensemble de données réelles disponible a été effectuée.**

Elle a consisté en une **comparaison entre les données réelles enregistrées** par les systèmes d'information de l'entreprise tout au long du processus d'une part, **et ce qui aurait dû se passer en théorie si aucun problème (CR) n'était apparu** d'autre part. Nous prenons l'hypothèse que ces informations théorique correspondent aux données enregistrées dans les bases de données.

Tout d'abord, pour **le recueil des données réelles**, nous avons considéré tous les **délais et les dates** enregistrées pour **chacun des OA émis jusqu'à réception des pièces correspondantes** sur une durée de 2 ans (2014 et 2015 : + de 150 000 OA). Comme nous l'avons dit, pour des questions de confidentialité, nous ne pouvons pas détailler les informations que contenaient ces données, mais nous pouvons montrer comment nous les avons utilisées pour réaliser nos analyses.

D'autre part, les données théoriques (marges et délais), enregistrées dans les bases de données des informations des contrats de sous-traitance réalisés par l'entreprise, ont été utilisées afin de calculer les **dates théoriques de chacune des étapes du processus** pour tous les OAs précédemment considérés.

Ces dates théoriques ont été ensuite utilisées comme base de comparaison avec les données réelles. En considérant nos dates théoriques comme les dates d'un processus dans lequel aucun dysfonctionnement n'a été réalisé, l'issue de cette analyse nous a permis de **calculer l'impact de chaque cause racine en termes d'augmentation de délais** pour autant d'observations que d'OA considérés.

Pour ce faire, nous avons considéré que si un écart de plus ou moins 10 jours est observé, l'OA spécifique est repéré comme ayant subi **une des CR précédemment liées à la partie du processus correspondant au délai altéré**. Cette différence est alors répertoriée comme étant une observation de l'impact de la CR correspondante.

Remarque : étant donné le temps et le contexte de travail de cette thèse, nous faisons a fortiori l'hypothèse que les données théoriques sont cohérentes par rapport à la réalité industrielle de l'environnement étudié. Ceci n'étant pas nécessairement vrai dans 100% des cas, nous n'avons, lorsque des données ne nous paraissaient pas homogènes, pas pris en compte ces observations.

L'observation des impacts au niveau des délais nous a donc permis de les **modéliser au travers de leur moyenne et écart type**. Le nombre élevé d'observations nous a permis de justifier le caractère gaussien de ses variables aléatoires, c'est-à-dire suivant une loi normale. Ces résultats ont été calculés **à une échelle globale, ainsi qu'à une maille site de production (usine) et/ou sous-traitant**.

Pour ces résultats, nous avons considérés 51 sous-traitants, 6 sites de production et 21 543 articles, réparties sur 110 692 commandes.

Le tableau 4.5 présente un exemple de ce que contiennent les tableaux qui récapitulent les résultats de cette analyse. Ici, nous trouvons le paramétrage de la variable «Cycle Fournisseur (CF)» avec les différentes valeurs obtenues sur la moyenne du nombre de jours de retard du CF dont la maille d'analyse est par sous-traitant et site de production (usine).

PARAMETRE SUR PROCESS IMPACT "Délai cycle SST"				
Clé	Sous-traitant	usine	Moyenne de délai réel vs délai	Écartype de délai réel vs délai théorique
SST1AGS	SST1	AGS	2,19	1,05
SST2MES	SST2	MES	1,77	0,84
STT3BZS	SST3	BZS	1,70	0,17
SST4MAS	SST4	MAS	5,11	1,87
SST5MES	SST5	MES	1,25	0,25
.....

Tableau 4.5 Exemple du tableau pour paramétrer la variable "Cycle Fournisseur"

Les tableaux correspondant à une maille globale et par sous-traitant sont présentés dans l'annexe technique (section B.2.1.2.2.2 gravité de l'impact) suivant l'accord de confidentialité.

D'une façon générale, nous pouvons conclure que **l'analyse des causes racines impactant l'indicateur nous a permis de:**

- 1. Catégoriser les « causes racines » afin de comprendre leur origine, et dégager une liste exhaustive,** grâce au 4.2.1.1., des informations concernant les activités/acteurs/système d'informations/temporalité processus/etc. associées à ces causes. Celles-ci nous indiquent comment, quand et où la CR apparaît.
- 2. Quantifier les « causes racines » en formalisant leur fréquence d'apparition et les paramètres probabilistes de leurs impacts au niveau des délais.** Ces deux caractéristiques seront utilisées dans la section suivante comme paramètres d'entrée de la simulation.

Dans la section suivante, l'étude de la propagation des impacts des causes racines au travers du processus étudié nous permettra d'analyser la sensibilité de l'indicateur priorisé à celles-ci.

4.2.2 Simulation de l'indicateur priorisé

Dans cette **deuxième partie** de la méthodologie proposée, nous modélisons le processus étudié débouchant sur la variable d'intérêt « SOTD » afin de **simuler les causes provoquant les dysfonctionnements** qui impactent négativement cet indicateur. Cette simulation nous permettra de **quantifier l'influence des CR sur l'indicateur attendu**. Celles-ci pourront alors être triées, et le plan d'action à mettre en place dans le chapitre 5 se focalisera sur ces résultats.

Notre démarche de simulation a été réalisée en trois étapes (voir figure 4.13). La **première** consiste à **définir le modèle à simuler** : variables (**données d'entrée** et leurs caractéristiques stochastiques, **indicateur de sortie**), paramètres industriels de la Supply Chain et paramètres de simulation.

La **deuxième étape** consiste à **calculer l'output du système pour un grand nombre d'observations de l'input générées aléatoirement**, nous permettant d'en déduire une distribution a posteriori de la variable de sortie.

La **troisième étape** consiste à **faire varier les paramètres « fréquence » et « gravité » de chacune des causes racines** afin d'identifier celles pour lesquelles l'indicateur priorisé est plus sensible.

Remarque : nous rappelons que, dans la suite de cette section, nous décrivons comment chaque étape est réalisée. Les résultats, basés sur les données fournies par l'entreprise, sont présentés dans l'annexe technique du chapitre 4 (section B.2.2).

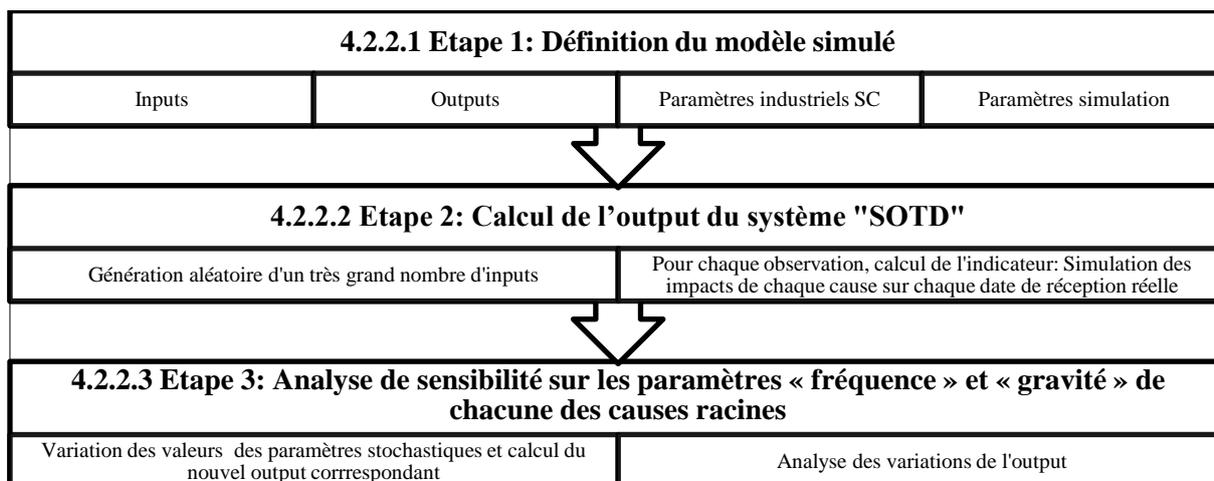


Figure 4.13 Démarche de la simulation

Nous allons d'abord voir les détails des trois étapes dans les sections suivantes. Puis, l'interprétation des résultats correspondant à la troisième étape seront présentés en détails dans le chapitre 5.

4.2.2.1 Etape 1 : Définition du modèle simulé

Pour cette **première étape**, nous commençons par **définir les caractéristiques du modèle à simuler**, présentées dans la figure 4.14: **les données d'entrée** (les inputs) sont des **Ordres d'Achat (OA)** composés d'une date de besoin, d'une quantité à commander, d'un produit et

d'un fournisseur, ainsi que les **paramètres stochastiques des causes racines** calculés précédemment en section 4.2.1.2.2., c'est-à-dire la moyenne et l'écart-type des fréquences et des impacts de chaque CRs.

Ces paramètres nous renseignent sur la **distribution des délais réels lorsqu'ils sont impactés par une cause racine**. Couplée à la probabilité d'occurrence, ces données complètent entièrement les caractéristiques probabilistes des inputs nécessaires à la simulation.

L'output pour chacune des observations est la date de réception réelle des articles considérés qui nous permettra in fine de calculer **l'indicateur de sortie SOTD** (output global) ; et les **paramètres** utilisés sont les **informations des sous-traitants et usines** (comme par exemple la matrice produit-fournisseurs, les cycles fournisseurs théoriques négociés par le département achat, ...), et enfin les paramètres de simulation comme la période d'analyse considérée.

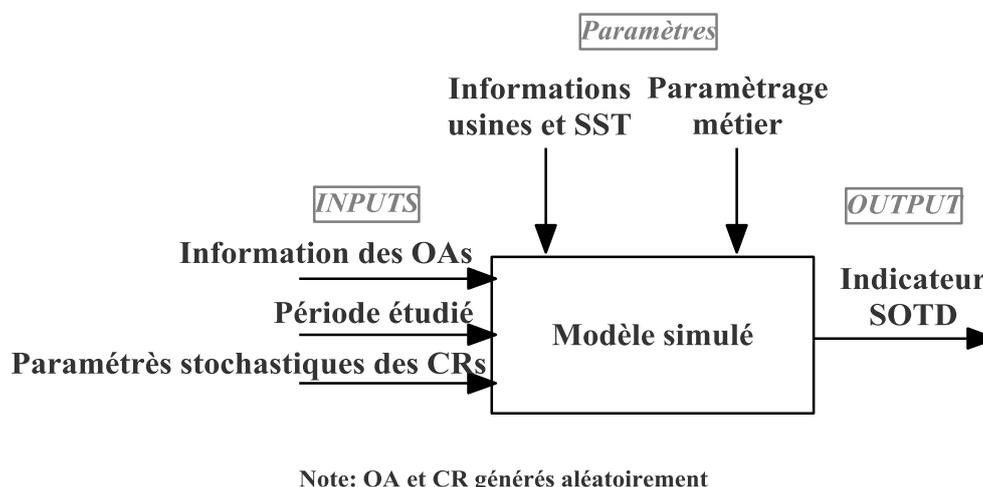


Figure 4.14 Représentation d'un modèle simulé

4.2.2.2 Etape 2 : Génération d'observations et calcul de l'output

Dans cette deuxième étape, nous allons tout d'abord générer un grand nombre d'inputs de notre modèle, et calculer pour chacun d'entre eux la valeur de l'output associé.

Les inputs à considérer sont tout d'abord les OAs. Ceux-ci sont générés aléatoirement comme des **ordres d'achats fictifs** entre les date de début et date de fin d'analyse, suivant les distributions de produits, de quantités, de fournisseurs, d'usines, de type d'achat, etc. récupérées dans les données mis à disposition par l'entreprise. Elles suivent donc les tendances de commandes réellement effectuées sur les deux précédentes années. Le format et les caractéristiques des OA générés sont présentés figure 4.15.

OA						
date de créa	code produit	produit	type achat	quantité	bes fournisseur	usine
09/07/2014	16619	3318984	ZSAP	627	F2047601	BZS
02/10/2014	9365	2553611	ZSCD	695	F2047601	BZS
08/12/2014	13449	3071634	ZSCD	778	F1299701	BZS
25/11/2014	16817	3322312	ZSCD	756	F0181501	MES
12/09/2014	15484	3192786	ZSCD	656	F2885601	AGS
19/12/2014	14546	3085348	ZSCD	996	F0181501	MES
04/10/2014	1256	1700462	ZSCD	784	F0666701	AGS
...

Figure 4.15 Exemples d'OA générés aléatoirement

Ensuite, pour chacun des OAs fictifs, chacune des causes racines est considérée indépendamment comme suit : lorsque cette CR apparaît, les délais réels de l'OA considéré sont tirés aléatoirement selon une loi normale qui suit la moyenne et l'écart type de l'impact sur les délais de cette même cause racine. Les délais alors simulés, et leur valeur observée en termes de nombre de jours, suivent donc la distribution gaussienne calculée en 4.2.2.1.

Ces observations des délais stochastiques nous permettent de calculer des dates de réception réelles potentielles, en fonction des causes racines considérées indépendamment pour chaque OA simulé. La figure 4.16 montre un tirage aléatoire de délais stochastiques correspondants au cycle fournisseur selon leur moyenne et écart-type (standard deviation, SD) visibles sur le tableau de gauche. On observe bien une augmentation du délai réel du cycle fournisseur comparativement à son délai théorique.

		Délai stochastique						
		VALEURS DELAIS si problème délai fournisseur						
<i>moyenne impact</i>	<i>SD impact</i>	<i>date traitement</i>	<i>LT transmission</i>	<i>LT fou contractuel</i>	<i>marge théorique</i>	<i>délai transmission</i>	<i>délai fournisseur</i>	<i>délai reception</i>
1,75	0,73	09/07/2014	5,00	70,00	5,00	5,00	87,27	5,00
1,75	0,73	02/10/2014	20,00	45,00	5,00	20,00	67,28	5,00
1,84	0,70	08/12/2014	20,00	85,00	5,00	20,00	118,48	5,00
1,78	0,47	25/11/2014	20,00	80,00	5,00	20,00	189,74	5,00
3,46	3,05	12/09/2014	20,00	35,00	5,00	20,00	-36,01	5,00
1,78	0,47	19/12/2014	20,00	142,00	5,00	20,00	158,47	5,00
1,94	0,84	04/10/2014	20,00	84,00	5,00	20,00	89,54	5,00
...

Figure 4.16 Exemple de génération aléatoire des délais stochastiques

Ainsi, les dates de chacune des étapes du processus SST de chacun des OA générés sont calculées en considérant un tirage aléatoire des délais stochastiques correspondants à la partie du processus impactée par la CR considérée.

Un exemple de ce calcul de dates potentielles est illustré dans la figure 4.17.

OA							VALEURS DATES si problème délai fournisseur		
date de création	code produit	produit	type achat	quantité besoin	fournisseur	usine	date création	Date contractuelle	Date de réception
15/11/2014	11777	2664853	ZSAP	761	F2047601	BZS	15/11/2014	03/02/2015	09/04/2015
21/08/2014	18834	3363168	ZSAP	93	F1140901	MAS	21/08/2014	29/12/2014	17/03/2015
09/10/2014	331	1500616	ZSCD	812	F3405601	AGS	09/10/2014	26/01/2015	24/05/2015
15/07/2014	7004	2425580	ZSCD	553	F3211001	AGS	15/07/2014	07/11/2014	04/12/2014
29/12/2014	17700	3337971	ZSAP	245	F0549901	MAS	29/12/2014	08/05/2015	24/07/2015
15/10/2014	7624	2516237	ZSAP	537	F0549901	BZS	15/10/2014	23/01/2015	10/03/2015
13/08/2014	1604	1719902	ZSAP	624	F4762701	AGS	13/08/2014	29/11/2014	27/01/2015
...

Figure 4.17 Exemple de calcul des dates pour le délai fournisseur

Ici, la date de création de l'OA correspond bien à celle générée dans les caractéristiques des inputs. La date de livraison contractuelle est, comme présentée au 4.2.1.1.1, calculée en sommant les délais théoriques à la date de création. Enfin, la date de réception ici illustrée correspond donc à une date de réception des pièces de chaque OA **simulé lorsqu'une cause racine impactant le délai fournisseur apparaît**. Ainsi, par exemple dans le premier OA, le délai réel observé tiré aléatoirement étant de 135 jours (voir figure 4.16), sa date de réception potentielle est augmentée de 65 jours (soit la différence entre le délai théorique et l'observation du délai stochastique tiré aléatoirement).

Dans un deuxième temps, l'apparition ou non d'une cause racine dans le processus simulé est finalement intégrée dans le calcul dans le but d'obtenir la date de réception réelle de l'OA simulé considéré. Pour ce faire, une variable binaire est générée aléatoirement pour chaque OA sur la base de la probabilité d'occurrence de chaque CR (voir figure 4.18). En d'autres termes, **la fréquence d'apparition des causes racines au niveau de la maille fournisseur-usine est utilisée pour affecter l'apparition ou non de dysfonctionnements sur tous les OA simulés** selon leur probabilité d'occurrence. Cette affectation nous permet in fine de calculer notre output qui est les dates de réception réelles de chacune des commandes considérées (voir figure 4.19, exemples de dates de réception réelles. Seules les causes CR2 et CR3 sont présentées pour des raisons de lisibilité).

Remarque : Nous avons considéré ici que les causes racines étaient indépendantes les unes des autres, c'est-à-dire que l'une ne peut pas en générer une autre, etc. Ainsi, les OA simulés ont tous été confrontés aux probabilités d'apparition des dysfonctionnements pris indépendamment les uns des autres. Les outputs (dates de réception réelles) sont donc présentés pour chaque cause racine, toutes choses égales par ailleurs, soit un dysfonctionnement après l'autre. L'indépendance de ces causes permettra par la suite quelques combinaisons que ce soit si cela est nécessaire.

OA							Variables binaires								
date de création	code produit	produit	type achat	quantité besoin	fournisseur	usine	CR1	CR2	CR3	CR4	CR5	CR6	CR7	CR8	CR9
15/11/2014	11777	2664853	ZSAP	761	F2047601	BZS	1	0	0	0	0	0	0	0	0
21/08/2014	18834	3363168	ZSAP	93	F1140901	MAS	0	0	0	0	1	0	0	0	0
09/10/2014	331	1500616	ZSCD	812	F3405601	AGS	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15/07/2014	7004	2425580	ZSCD	553	F3211001	AGS	0	1	0	0	0	0	0	0	0
29/12/2014	17700	3337971	ZSAP	245	F0549901	MAS	0	0	0	0	0	0	0	0	1
15/10/2014	7624	2516237	ZSAP	537	F0549901	BZS	0	1	0	1	0	0	0	0	0
13/08/2014	1604	1719902	ZSAP	624	F4762701	AGS	0	0	0	0	0	0	1	0	0
...

Figure 4.18 Exemples du calcul de la variable binaire pour chaque CR

OA							VALEURS DATES CR2			VALEURS DATES CR3		
date de création	code produit	produit	type achat	quantité besoin	fournisseur	usine	date création	Date contractuelle	Date de réception	date création	Date contractuelle	Date de réception
15/11/2014	11777	2664853	ZSAP	761	F2047601	BZS	15/11/2014	03/02/2015	08/04/2015	15/11/2014	03/02/2015	08/04/2015
21/08/2014	18834	3363168	ZSAP	93	F1140901	MAS	21/08/2014	29/12/2014	17/03/2015	21/08/2014	29/12/2014	17/03/2015
09/10/2014	331	1500616	ZSCD	812	F3405601	AGS	09/10/2014	26/01/2015	24/05/2015	09/10/2014	26/01/2015	24/05/2015
15/07/2014	7004	2425580	ZSCD	553	F3211001	AGS	15/07/2014	07/11/2014	04/12/2014	15/07/2014	07/11/2014	04/12/2014
29/12/2014	17700	3337971	ZSAP	245	F0549901	MAS	29/12/2014	08/05/2015	24/07/2015	29/12/2014	08/05/2015	24/07/2015
15/10/2014	7624	2516237	ZSAP	537	F0549901	BZS	15/10/2014	23/01/2015	10/03/2015	15/10/2014	23/01/2015	10/03/2015
13/08/2014	1604	1719902	ZSAP	624	F4762701	AGS	13/08/2014	29/11/2014	27/01/2015	13/08/2014	29/11/2014	27/01/2015
...

Figure 4.19 Exemple de valeurs de l'output « date de réception » pour les CR2 et CR3

Finalement, l'indicateur qui nous intéresse, c'est-à-dire le SOTD, est calculé sur la base de moyenne de nombre d'OA en retard ou non, donnée calculée grâce à l'output de simulation. Afin de toucher à un plus large panel de considérations métier, ces moyennes sont calculées à la fois par pondération par rapport au nombre d'OA, et également par rapport à la quantité de produits (voir figure 4.20).

SOTD ratio									SOTD quantité								
CR1	CR2	CR2	CR4	CR5	CR6	CR7	CR8	CR9	CR1	CR2	CR2	CR4	CR5	CR6	CR7	CR8	CR9
86%	83%	97%	86%	96%	95%	95%	98%	92%	85%	83%	97%	86%	96%	95%	95%	98%	92%

Figure 4.20 Exemple du calcul de l'indicateur SOTD

Comme précisé dans la remarque ci-dessus, les dates de réceptions réelles sont calculées pour chacune des causes racines prises indépendamment les unes des autres. Ainsi, de la même façon, le calcul de l'SOTD se fait pour chacune des causes, toutes choses égales par ailleurs. L'SOTD réel observé en pratique dans l'entreprise est une des nombreuses combinaisons possibles de l'apparition de chacune des causes racines.

4.2.2.3 Etape 3 : Sensibilité des causes racines

Pour cette troisième étape nous allons faire varier les paramètres « fréquence » et « gravité » de chacune des causes racines afin d'identifier celles auxquelles l'indicateur priorisé est plus sensible.

Tout d'abord, pour chacun des CRs, la moyenne de l'impact sur les délais que celle-ci altère en termes de nombre de jours a été réduit de -5 à -95% , avec un pas de 5%. Pour chacun de

ces nouveaux paramètres stochastiques des délais aléatoires, de nouvelles observations ont été générées, et l'indicateur SOTD a été recalculé en conséquence. La figure 4.21 présente un exemple d'amélioration des performances de l'indicateur STOD si la moyenne de l'impact sur les délais de la cause racine 9 est diminuée de 0 à 95%.

Ensuite, la même démarche a été appliquée pour la probabilité d'occurrence de chaque cause racine. Ici, cependant, nous avons considéré à la fois une augmentation de la fréquence de 5 à 95%, ainsi qu'une baisse de -5 à -95% de risque d'apparition sur la période considérée.

Cette démarche nous a permis de recueillir des informations concernant **les causes racines et leurs effets sur l'indicateur priorisé: nous pouvons savoir, lorsque leur impact négatif sur les délais est diminué ou lorsqu'elles apparaissent moins souvent, si cet indicateur s'améliore ou non ; et, dans l'affirmative, dans quelles mesures celui-ci voit ses performances progresser.**

Réduction de x% de la moyenne de l'impact:	SOTD ratio
	CR9
95%	95,91%
90%	95,75%
85%	95,33%
80%	95,33%
75%	94,76%
70%	94,37%
65%	94,11%
60%	93,97%
55%	93,77%
50%	93,41%
45%	93,53%
40%	93,37%
35%	93,16%
30%	93,17%
25%	93,07%
20%	92,68%
15%	92,14%
10%	92,51%
5%	92,48%
0%	92,26%

Figure 4.21 Exemple du calcul de l'indicateur SOTD en appliquant une diminution de 0 à 95% sur la CR9

Les résultats issus de la simulation seront présentés en détails dans l'annexe technique (section B.2.2.3). Leur interprétation fera l'objet du début du chapitre suivant, afin d'introduire son importance dans la méthodologie d'une mise en place de plan d'actions.

4.3 Conclusions du chapitre 4

A l'issue de ce chapitre 4, nous pouvons conclure que la méthodologie proposée pour analyser les indicateurs priorisés (section 4.2) se décompose en plusieurs étapes :

1. **Identifier des causes de dysfonctionnement (section 4.2.1) grâce à deux analyses:**

- i. **L'étude approfondie du processus** choisi via **les analyses qualitatives et quantitatives proposées**. Tout d'abord, **une étude chronologique** (section 4.2.1.1.1) nous a renseigné sur les détails du processus, à la fois au niveau temporel, au niveau des actions réalisées, des acteurs impliqués, des variables utilisées, de leurs rôles et de leurs calculs associés. En second lieu, **une identification des variables** (section 4.2.1.1.2) impactant l'indicateur priorisé, nous a permis de connaître les liens calculatoires entre les causes racines (CR), les variables impactantes, et leurs détails des opérations correspondantes.
- ii. **L'analyse de causes racines (CR) nous a permis de les identifier et de les catégoriser**, grâce à l'analyse chronologique qui nous a permis de comprendre leur origine, et d'en dégager une liste exhaustive sur comment, quand et où les CRs apparaît. Ensuite, une quantification des CRs a été réalisée en formalisant leurs paramètres probabilistes, c'est-à-dire leur fréquence d'apparition et leur impact au niveau des délais.

Ces deux analyses nous ont ensuite permis d'effectuer une simulation du process afin d'approfondir la quantification du lien cause racine/indicateur priorisé.

2. **Réaliser une simulation des impacts des causes racines (section 4.2.2) :**

- i. Le modèle simulé considéré a pris en compte : les variables (**données d'entrée** et leurs caractéristiques stochastiques, **indicateur de sortie**), les paramètres industriels de la Supply Chain et des paramètres de simulation.
- ii. La simulation de **l'output du système pour un grand nombre d'observations de l'input générées aléatoirement**, nous a permis d'en déduire une distribution a posteriori des variables de sortie : date de réception réelles d'une part et SOTD d'autre part.

iii. Enfin, nous avons fait **varier les paramètres « fréquence » et « gravité » de chacune des causes racines** afin d'identifier celles pour lesquelles l'indicateur priorisé est plus sensible.

Au chapitre suivant, nous allons interpréter les résultats issues de l'analyse de sensibilité effectuée afin de mettre en relief ces résultats dans la démarche de mise en place d'une méthodologie de plan d'actions pour réduire les causes racines (CR).

Chapitre 5 Résultats de la simulation et Proposition d'une méthodologie d'établissement de plan d'actions

Grâce à la méthode SCOS'M présentée dans le chapitre 3, nous avons pu identifier un indicateur essentiel dont les bonnes performances sont attendues par les parties prenantes de l'activité étudiée dans le processus de création de valeur: l'indicateur SOTD fournisseurs (On Time Delivery).

Dans le chapitre 4, nous avons ensuite identifié les dysfonctionnements qui impactent négativement cet indicateur, et qui détériorent donc la performance attendue. Nous avons présenté une méthodologie pour analyser ces dysfonctionnements, et mesurer la sensibilité de notre indicateur à ces problèmes apparaissant dans les opérations du processus de sous-traitance associé.

Dans ce chapitre, nous proposons un outil qualitatif d'aide à la décision définissant une procédure menant à des choix d'actions à réaliser afin de réduire l'effet négatif des dysfonctionnements sur l'indicateur priorisé.

Pour ce faire, dans une première partie, nous interprétons les résultats de l'analyse de sensibilité présentée au chapitre précédent, ce qui nous permettra de classer et de prioriser les dysfonctionnements par rapport à l'apport de leur amélioration sur notre indicateur priorisé. Ensuite, la deuxième partie sera dédiée à la définition d'un cadre d'étude permettant un choix pertinent d'actions à réaliser aidant à améliorer les performances visées. Un ensemble de leviers et d'actions d'amélioration possibles à réaliser sera tout d'abord présenté. Il sera ensuite utilisé comme exemple pour présenter précisément la méthodologie proposée permettant d'aboutir à une orientation des décisions d'amélioration par les décideurs industriels.

5.1 Analyse de sensibilité et priorisation des dysfonctionnements

Dans cette partie, nous allons donner suite à la démarche de simulation présentée au chapitre 4, et rappelée dans la figure 5.1 ci-dessous. Plus précisément, nous nous positionnons dans l'analyse des résultats de l'étude de la sensibilité de l'output (l'indicateur SOTD) en fonction des variations des paramètres stochastiques des causes racines des dysfonctionnements.

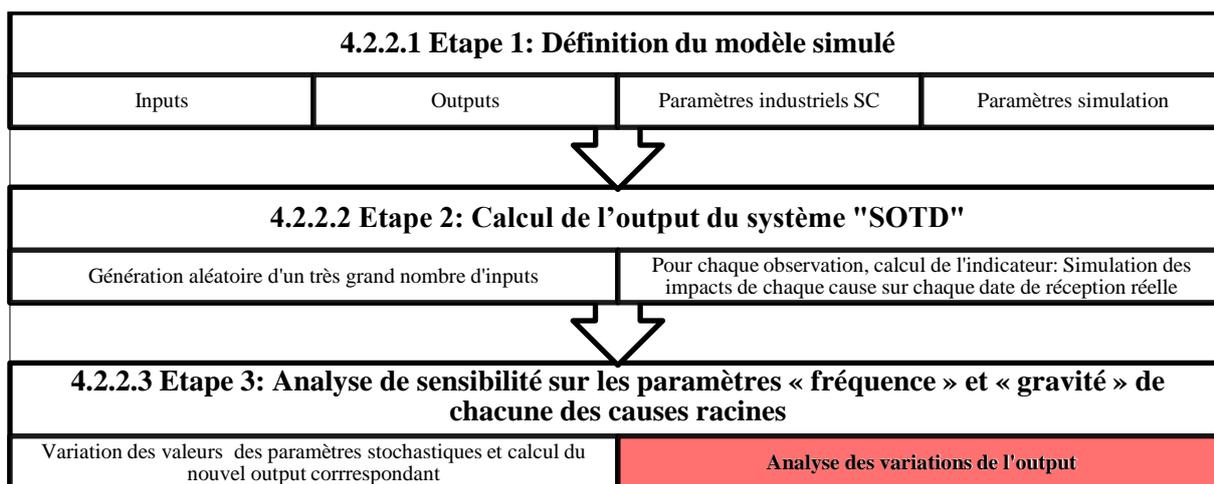


Figure 5.1 Rappel de la démarche de la simulation

Dans un premier temps, nous présentons comment les informations clés ont été extraites des données brutes avant analyse. Ensuite, nous détaillons l'interprétation de ces informations, et précisons leur rôle dans la méthodologie proposée par la suite en 5.2.

5.1.1 Traitement des résultats de l'analyse de sensibilité de la simulation

A l'issue de l'analyse de sensibilité, les données à traiter se présentent sous la forme de tableaux. En effet, comme décrit au chapitre précédent, nous calculons ici l'indicateur SOTD lorsque, pour chaque cause racine prise indépendamment, ses paramètres « fréquence d'apparition » et « moyenne de l'impact sur le délai altéré » varient respectivement de -95% à 95% et de 0 à -95% avec un pas de 5%, toutes choses égales par ailleurs (Exemple du calcul de SOTD lors de l'amélioration du délai de transmission en figure 5.2).

Réduction de x% de la moyenne de l'impact transmission:	SOTD ratio								
	CR1	CR2	CR3	CR4	CR5	CR6	CR7	CR8	CR9
0,95	84,9%	83,1%	97,3%	85,6%	96,3%	97,1%	96,8%	99,1%	92,3%
0,9	85,1%	82,3%	97,7%	85,7%	96,4%	96,9%	96,8%	99,2%	92,4%
0,85	85,3%	82,3%	97,6%	85,3%	96,3%	96,9%	96,9%	99,1%	92,2%
0,8	84,5%	82,2%	97,6%	85,9%	96,4%	96,8%	96,7%	99,0%	92,3%
0,75	84,9%	82,4%	97,6%	85,5%	96,7%	96,6%	96,7%	99,0%	92,3%
0,7	84,3%	82,6%	97,4%	85,7%	96,2%	96,6%	96,7%	98,8%	92,0%
0,65	85,0%	82,7%	97,8%	85,9%	96,3%	96,2%	96,7%	98,9%	92,3%
0,6	85,1%	83,3%	97,5%	85,2%	96,3%	96,4%	96,1%	99,0%	92,2%
0,55	85,2%	82,7%	97,5%	85,5%	96,4%	96,5%	95,9%	98,8%	92,7%
0,5	85,0%	81,9%	97,5%	85,4%	96,1%	96,4%	96,1%	98,9%	91,9%
0,45	85,7%	83,0%	97,6%	85,2%	96,2%	95,9%	96,0%	98,9%	92,2%
0,4	84,8%	82,9%	97,9%	85,4%	96,5%	96,3%	95,7%	99,1%	91,9%
0,35	84,7%	82,7%	97,5%	85,6%	96,4%	96,0%	96,2%	98,8%	92,5%
0,3	84,4%	83,0%	97,6%	85,9%	96,7%	95,4%	95,5%	98,5%	91,8%
0,25	84,8%	83,1%	97,4%	85,8%	96,1%	95,9%	95,7%	98,5%	92,0%
0,2	84,8%	82,3%	97,5%	85,1%	96,4%	95,6%	95,7%	98,6%	92,5%
0,15	85,1%	82,1%	97,5%	85,5%	96,5%	95,4%	95,6%	98,8%	92,6%
0,1	84,6%	82,6%	97,7%	85,4%	96,7%	95,4%	95,3%	98,4%	92,2%
0,05	85,2%	82,0%	97,5%	85,1%	96,3%	95,2%	95,0%	98,6%	92,3%
0	84,9%	82,9%	97,8%	85,5%	96,5%	95,3%	95,4%	98,4%	92,3%

Figure 5.2 Exemple de tableau de résultats bruts de l'analyse de sensibilité

Nous pouvons ainsi constater une amélioration de l'SOTD lorsqu'une cause racine voit sa probabilité d'occurrence réduite (Exemple d'une amélioration de la fréquence d'apparition de la cause racine numéro 1, voir figure 5.3), ou lorsque la moyenne de l'impact négatif sur le délai que celle-ci altère diminue (Exemple d'une diminution de l'impact sur le délai « cycle fournisseur » de la cause racine numéro 2, voir figure 5.4).

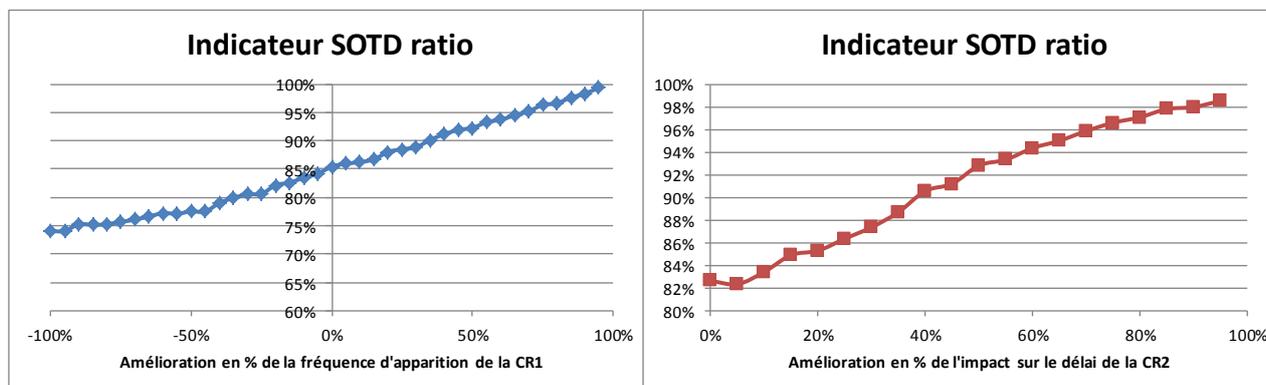


Figure 5.3 Variations de l'SOTD selon l'amélioration de la fréquence d'apparition de la CR1

Figure 5.4 Variations de l'SOTD selon l'amélioration de l'impact sur le délai de la CR2

Ces résultats peuvent légitimement, en première approximation, être approchés par une régression linéaire. En effet, nous constatons, comme illustré par exemple dans les précédentes figures, une régularité dans le niveau d'amélioration de l'indicateur, quel que soit la cause considérée et/ou le paramètre variant.

Autrement dit, il est intéressant d'étudier ici l'**amélioration moyenne de l'SOTD** pour une réduction de 5% de l'impact ou de la fréquence d'apparition de chaque cause racine (coefficient directeur).

Les chiffres et graphiques complets sont présentés en annexe technique B.2.3.3 et B.2.3.4.

Dans ce contexte, les résultats des coefficients directeurs des améliorations moyennés sont les suivants, en distinguant le calcul de l'SOTD en quantité ou en ratio :

Amélioration moyenne SOTD ratio pour 5% de réduction de l'impact correspondant								
CR1	CR2	CR3	CR4	CR5	CR6	CR7	CR8	CR9
0,73	0,84	0,11	0,50	0,16	0,10	0,07	0,04	0,20
Amélioration moyenne SOTD ratio pour 5% de réduction de la fréquence correspondant								
CR1	CR2	CR3	CR4	CR5	CR6	CR7	CR8	CR9
0,65	0,78	0,12	0,61	0,18	0,23	0,23	0,07	0,43

Amélioration moyenne SOTD qty pour 5% de réduction de l'impact correspondant								
CR1	CR2	CR3	CR4	CR5	CR6	CR7	CR8	CR9
0,72	0,83	0,12	0,51	0,16	0,10	0,07	0,04	0,22
Amélioration moyenne SOTD qty pour 5% de réduction de la fréquence correspondant								
CR1	CR2	CR3	CR4	CR5	CR6	CR7	CR8	CR9
0,65	0,79	0,12	0,61	0,19	0,23	0,23	0,07	0,43

Figure 5.5 Résultats de l'amélioration moyenne de l'SOTD

Les résultats sont exprimés en points de pourcentage d'amélioration. Par exemple : une diminution de 5% de la moyenne, en nombre de jours, de l'impact sur le délai (augmentation du délai lorsque la cause racine apparaît) de la cause racine n°1 a, en moyenne, un effet positif de 0,73 points de pourcentage sur l'SOTD en ratio. De la même façon, si sa fréquence d'apparition diminue de 5%, l'amélioration moyenne de l'SOTD (ratio) sera de 0,65 points.

5.1.2 Interprétation des résultats de l'analyse de sensibilité de la simulation

L'objet de notre étude est de comprendre quels dysfonctionnements sont particulièrement intéressants à améliorer afin d'atteindre les performances attendues en terme d'indicateur priorisé.

La précédente analyse de sensibilité nous a permis de faire **ressortir dans quelles mesures une diminution de l'impact négatif** d'une cause racine sur le délai altéré correspondant, ou **une diminution de la probabilité d'apparition** d'une cause racine, **permet d'améliorer l'SOTD**. Les tableaux précédents montrent que l'amélioration de l'SOTD n'est pas uniforme sur toutes les causes racines. Ainsi, il est donc naturel de traiter **en priorité les causes racines dont une réduction des effets négatifs permet une plus grande amélioration**.

Les tableaux suivants (voir figures 5.6 et 5.7) résument donc les priorités de traitement des causes racines afin d'améliorer l'indicateur souhaité de façon optimisée:

CR	Amélioration moyenne SOTD ratio pour 5% de réduction de l'impact correspondant	CR	Amélioration moyenne SOTD ratio pour 5% de réduction de la fréquence correspondant
CR2	0,84	CR2	0,78
CR1	0,73	CR1	0,65
CR4	0,50	CR4	0,61
CR9	0,20	CR9	0,43
CR5	0,16	CR6	0,23
CR3	0,11	CR7	0,23
CR6	0,10	CR5	0,18
CR7	0,07	CR3	0,12
CR8	0,04	CR8	0,07

Figure 5.6 Résultats triés des améliorations de l'SOTD ratio

CR	Amélioration moyenne SOTD qty pour 5% de réduction de l'impact correspondant	CR	Amélioration moyenne SOTD qty pour 5% de réduction de la fréquence correspondant
CR2	0,83	CR2	0,79
CR1	0,72	CR1	0,65
CR4	0,51	CR4	0,61
CR9	0,22	CR9	0,43
CR5	0,16	CR6	0,23
CR3	0,12	CR7	0,23
CR6	0,10	CR5	0,19
CR7	0,07	CR3	0,12
CR8	0,04	CR8	0,07

Figure 5.7 Résultats triés des améliorations de l'SOTD quantité

La CR2, par exemple, permet, en moyenne, une bonne progression de l'indicateur SOTD (environ +0,8 points) lorsque ses paramètres (probabilité d'occurrence ou diminution des délais altérés par cette même cause) progressent de 5%. Il serait donc plus fructueux de s'intéresser à cette cause racine et aux dysfonctionnements qu'elle génère dans le processus que de s'orienter vers la cause racine numéro 8, qui, elle, n'améliore que de 0,07 ou 0,04 points l'SOTD (selon si on parle d'amélioration de fréquence d'apparition ou de délai diminué).

Cette interprétation des résultats de l'analyse de sensibilité nous permet d'obtenir les premières informations nécessaires à la construction de notre outil qualitatif d'aide à la décision. En effet, dans une démarche d'amélioration des performances d'un processus appartenant à un système contraint par tout un environnement (financier, stratégique, opérationnel, etc.), **des informations de priorisation donnant une valeur d'ordre de traitement** permettent aux décideurs et gestionnaires **d'optimiser les ressources disponibles** et leur affectation dans le temps.

Ici, dans notre étude, ces résultats donnent aux décideurs **une hiérarchisation pertinente des causes à traiter** dans le but d'optimiser les performances de l'indicateur SOTD, c'est-à-dire, à ressources financières, humaines, et temporelles données, **trouver la meilleure façon de les affecter aux dysfonctionnements à améliorer**.

Dans la section suivante, nous présentons la deuxième source d'information nécessaire à l'élaboration de notre outil d'aide à la décision, à savoir les moyens à mettre en place et les potentiels leviers d'amélioration. Nous détaillons donc dans la section suivante un état de l'art d'actions d'amélioration des performances SC.

5.2 Les leviers potentiels d'amélioration

Une fois les causes racines priorisées, les décideurs peuvent alors s'y fonder afin de connaître la valeur ajoutée d'améliorer une cause racine plutôt qu'une autre. La question qui découle naturellement de notre précédent résultat est de savoir comment l'améliorer. Pour cela, des actions doivent être mises en place, susceptibles de diminuer la fréquence d'apparition des causes racines priorisées, ou minimiser leur impact sur le délai qu'elles altèrent.

Nous présentons dans cette section des exemples d'actions ou leviers d'amélioration de performances Supply Chain identifiés dans la littérature qui peuvent améliorer les paramètres stochastiques des causes racines priorisées.

Remarque : l'objectif de notre travail est ici de présenter un outil d'aide à la décision portant sur la mise en place d'actions d'amélioration et non pas de justifier les choix des actions envisagées, qui se sont faits par des rencontres bibliographiques au fil des lectures (voir tableau 5.1). La liste d'actions d'amélioration présentée ici n'est donc ni une liste exhaustive, ni une liste totalement justifiée à notre cas d'étude. Nous nous intéressons par conséquent à la démarche menant au classement, à la priorisation des actions, et non au choix en lui-même de ces actions.

Nous choisissons de catégoriser ces actions selon 3 caractéristiques:

- Leur domaine d'application
- Leur nature d'amélioration
- Leur niveau décisionnel

Tout d'abord, nous précisons pour chaque levier leur **domaine d'application** dans lequel celui-ci serait mis en place. Cinq domaines possibles ont été identifiés: la **conception du réseau SC et de l'environnement d'approvisionnement**, la **définition des méthodes et de la structure de pilotage**, la **gestion et le pilotage des opérations**, la **conception et gestion de l'organisation interne et externe**, et les **systems d'information**.

Nous définissons la deuxième caractéristique comme étant ce que les actions apportent en termes d'amélioration. Ainsi, nous spécifions des **familles de leviers** selon ce que le levier permet d'obtenir dans le processus dans lequel il a été mis en place : une **meilleure réactivité**, une **diminution des risques**, ou une **meilleure collaboration interne et/ou externe**.

La troisième caractéristique correspond au **niveau décisionnel** ou horizon de temps d'application du levier : **stratégique** (décisions long terme), **tactique** (décisions court/moyen terme) ou **support** (tous niveaux décisionnels).

Nous détaillons brièvement ci-après chacun des leviers choisis pour la définition de notre méthodologie par niveau décisionnel. Nous présentons ensuite un tableau récapitulatif (tableau 5.1) catégorisant les leviers suivant les trois niveaux décisionnels, et présentant leurs sources bibliographiques.

5.2.1 Le niveau décisionnel stratégique

Les actions dont le niveau décisionnel est stratégique correspondent à des leviers dont la mise en place définit une organisation long terme de l'entreprise, issue de décisions stratégiques, et requiert donc, la plupart du temps, des investissements conséquents.

Le premier levier stratégique identifié est l'exploitation de plusieurs usines pouvant être utilisées pour des mêmes fins en terme de production. Définie ainsi, la SC permet à l'entreprise de gagner en **réactivité** et de **minimiser ses risques** de rupture d'approvisionnement (famille de levier). Nous pouvons ici distinguer deux types de leviers « multi-usines ». Le premier cas (noté *LI*) considère deux usines pouvant produire la même chose, la première étant affectée automatiquement aux commandes du produit, la deuxième ne servant que dans des cas où la première n'est plus en état de livrer (plus de capacité

disponible, grèves, problèmes météo, ...) (Kleindorfer & Saad 2005; Galbraith 1973; Galbraith 1977). Cela permet donc de substituer à la première usine non fonctionnelle l'usine « back-up » afin d'être approvisionné normalement. Le deuxième type de leviers « multi-usines » (*L2*) est défini par la capacité de deux usines à produire la même chose avec des délais de production différents (Minner 2003; Zhang 1996). Ainsi, une première usine, qui produit et livre sur un plus grand délai, mais qui est souvent moins chère, est utilisée lorsque les conditions de commande autorise un délai plus important ; alors que la deuxième usine produit et livre plus rapidement, mais à un coût plus élevé, et est, quant à elle, utilisée lorsque les délais sont serrés et que l'approvisionnement doit se faire rapidement. Ces leviers traitent de la **conception et de la définition du réseau global SC** de l'entreprise (domaine d'application). Ces leviers « multi-usines » peuvent également être définis avec les fournisseurs : (*L3*) (Kleindorfer & Saad 2005; Lasher 2003; Gallagher & Andrew 2000) et (*L4*) (Minner 2003; Zhang 1996).

Une approche similaire est de considérer différents modes de livraison, dont les délais sont différents (*L5*). Cette fois-ci, la livraison s'effectue à partir d'une même usine ou d'un même fournisseur, mais améliore de la même façon la **réactivité de l'approvisionnement** lorsque cela est nécessaire (Minner 2003; Zhang 1996). Nous catégorisons ce levier dans le domaine de la **définition des méthodes de pilotage**.

Le choix des fournisseurs dans la **définition de l'environnement d'approvisionnement** est une action stratégique qui peut également permettre de gagner en **réactivité** lorsque ceux-ci sont situés proche de l'usine à approvisionner par exemple (*L6*) (Talbot 2008; Jordan & Graves 1995; Suarez et al. 1995). Dans ce choix des fournisseurs, il est également potentiellement intéressant de contracter des sous-traitants capables de vendre de la capacité de production (*L7*) ou de stockage (*L8*) (Quinn & Hilmer 1994; Kouvelis & Milner 2002).

Dans la **définition de la structure et des méthodes de pilotage**, les choix définissant la position et les méthodes de quantification des stocks de sécurité (*L9*) sont essentiels, dans le sens où elles permettent également de **minimiser les risques de rupture** (Cox Jr. 1989; Safizadeh & Ritzman 1997). De la même façon, la définition de capacité de production de sécurité (*L10*) peut également y contribuer (Cox Jr. 1989; Fine & Freund 1990).

Un autre levier dont le domaine est la **définition de la structure de pilotage** qui permet, grâce à la diminution des incertitudes de gestion qu'il génère, de **minimiser les risques** de dysfonctionnement de processus ou de coûts élevés est la définition pertinente du point de

découplage dans la chaîne d'approvisionnement (*L11*), point à partir duquel les flux sont gérés par commandes fermes et non plus par prévisions (Fisher 1997). De la même façon, lorsque des produits utilisent des mêmes composants, la différenciation retardée (*L12*), consistant à affecter le plus tard possibles les composants intermédiaires aux produits finis permet une gestion moins coûteuse et moins **risquée** en rupture (Hoek 2000; Swaminathan & Lee 2003).

Afin d'exploiter les avantages de cette différenciation retardée, une conception des produits mutualisant leurs composants (*L13*) est une action potentiellement à mettre en place, et permettant également une **minimisation des risques** de rupture (et symétriquement de sur-stock), puisque un seul stock mutualisé pourra être utilisé pour les produits de même composant (Eppinger & Ulrich 1995; Allen & Carlson-Skalak 1998; Gershenson et al. 2003; Carter & Narasimhan 1990; Cooper et al. 1997; Nozick & Turnquist 1998; Prodhon 2006; Keskin & Üster 2007).

5.2.2 Le niveau décisionnel tactique

Lorsque l'on considère des actions ou leviers à horizon de temps de mise en place plus rapproché que les leviers stratégiques, sans pour autant être de l'ordre de la gestion opérationnelle journalière, nous nous trouvons dans le cadre d'actions d'amélioration dites de niveau « tactique ». Elles sont souvent associées à des considérations de type pilotage de flux et plan directeur de production, décision de réservation de capacité, etc... dont l'ordre de grandeur de période temporelle est de l'ordre de quelques mois.

Parmi ces leviers, nous trouvons donc des leviers de **pilotage** de stocks, comme définir une fréquence d'approvisionnement courte et/ou appropriée aux contraintes de l'environnement de l'entreprise (*L14*), qui permet d'améliorer **la réactivité** du processus d'approvisionnement (Fisher 1997; Gupta & Somers 1996). Un autre moyen d'améliorer cette réactivité se situe au niveau de la décision de longueur d'horizon figée : une longueur optimisée permet à la fois de minimiser les risques d'aléas et donc de rupture (et symétriquement de sur-stock), et de maintenir une stabilité nécessaire au bon déroulement de la production (*L15*) (Fisher 1997). Dans le cas d'une gestion multi-flux (multi-produits et/ou multi-étages de production, etc.), la mise en place d'une priorisation des ressources et son exécution au niveau des lancements de production est une bonne pratique afin d'en améliorer sa gestion par rapport à des critères définis par les décideurs selon la stratégie de l'entreprise (*L16*) (Fisher 1997). Nous plaçons

ce levier dans la famille de **minimisation des risques**, en considérant ici les risques de coûts supplémentaires générés par une gestion moins efficace de la production.

D'autres considérations de pilotage peuvent également être considérées afin d'améliorer les performances temporelles, et donc de **réactivité**, des processus Supply Chain. On peut citer par exemple la mise en place d'une structure permettant une plus grande flexibilité en termes de ressources humaines, afin de pouvoir gagner en adaptabilité au niveau de la production. Ceci peut être également le cas en considérant les sous-traitants (*L17*) (Cox Jr. 1989; Upton 1994; Suarez et al. 1995). D'autres part, l'analyse des délais globaux réels « time-to-market », c'est-à-dire du temps nécessaire du déclenchement d'un approvisionnement jusqu'à la vente du produit final au client (final), et leur réduction, par des méthodes « lean » par exemple, constitue un levier intéressant dans un but d'amélioration des performances SC (*L18*) (De Treville et al. 2004; Lambert & Cooper 2000).

5.2.3 Les leviers de type « support »

Sont regroupées ici les leviers et actions dont les décisions concernent les fonctions support (organisation, SI). Elles peuvent jouer un rôle à la fois long, moyen, ou long terme, selon le niveau d'investissement et/ou de changement organisationnel qu'elles requièrent.

Dans un premier temps, des actions qui améliorent l'efficacité **organisationnelle** de l'entreprise peuvent être considérées. A titre d'exemple, des interfaces inter-équipes transparentes et fluides en termes d'information améliorent la **collaboration** entre départements (*L19*) (Alfalla-Luque et al. 2012; Grover et al. 2013). Par ailleurs, la **collaboration**, notamment au niveau de la gestion de projet, peut également être organisée au niveau des liens externes de l'entreprise (amonts et avals, hors process SC, ...) (*L20*) (Fisher 1997; Cao & Zhang 2011; Fiala 2005; Huang et al. 2003).

Dans un deuxième temps, les actions permettant une amélioration des systèmes d'information et autres outils de support de gestion des flux d'information mènent à de meilleures performances **organisationnelles**. Elles peuvent être issues d'actions visant à mettre en place des outils augmentant la rapidité des flux (*L21*) (Jordan & Graves 1995; Grover et al. 2013; Zhou et al. 2014), la fiabilité (*L22*) (Fisher 1997; Jordan & Graves 1995; Grover et al. 2013; Zhou et al. 2014), et/ou favoriser le partage d'information (*L23*) (Grover et al. 2013; Ramanathan & Gunasekaran 2014; Costantino et al. 2015).

5.2.4 Synthèse des leviers d'amélioration des performances

Le tableau 5.1 présenté ci-dessous récapitule tous les leviers décrits précédemment et leurs caractéristiques d'un point de vue domaine d'application, niveau décisionnel, et domaine amélioré. Leurs références bibliographiques y sont également précisées.

Après avoir étudié et classifié les leviers d'amélioration issus de la littérature, nous pouvons conclure que :

- Nous avons une base d'exemples génériques de leviers pouvant potentiellement être utilisés dans un cadre d'amélioration des performances. Ceux-ci impactent les caractéristiques des causes racines qui jouent sur notre indicateur. Il s'agira ensuite d'évaluer leur efficacité et la faisabilité de leur mise en place.
- Leur catégorisation permet de mettre en relief les différences d'enjeux, d'environnements, et d'horizon de temps, et donc de définir un **cadre de prise de décision structuré** pour les décideurs utilisateurs de la méthodologie.
- Cette liste nous servira d'exemple de base pour présenter notre proposition de démarche de choix au travers de l'outil d'aide à la décision qualitatif de la section suivante.

N°	Leviers	Niveau décisionnel			Domaine					Famille de leviers			Références	
		Stratégique	Tactique	Opérationnel	Conception du réseau et de l'environnement d'approvisionnement	Définition de la structure de pilotage	Gestion et pilotage des opérations	SI	Organisationnel interne et externe	Réactivité améliorée	Minimisation des risques	Collaboration		
														S
L1	Multi usines (back up)	X			X						X	X		(Kleindorfer & Saad 2005; Galbraith 1973; Galbraith 1977)
L2	Multi usines (deux lead time différents)	X			X						X	X		(Minner 2003; Zhang 1996)
L3	Multi fournisseurs (back up)	X			X						X	X		(Kleindorfer & Saad 2005; Lasher 2003; Gallagher & Andrew 2000)
L4	Multi fournisseurs (deux lead time différents)	X			X						X	X		(Minner 2003; Zhang 1996)
L5	Multi modes de livraison	X				X					X			(Minner 2003; Zhang 1996)
L6	Localisation des sous-traitants près des usines	X			X						X			(Talbot 2008; Jordan & Graves 1995; Suarez et al. 1995)
L7	Sous-traitance de capacité production	X			X						X			(Quinn & Hilmer 1994; Kouvelis & Milner 2002)
L8	Sous-traitance de capacité stockage	X			X						X			(Quinn & Hilmer 1994; Kouvelis & Milner 2002)
L9	Stocks stratégique de sécurité (position et quantification)	X				X					X			(Cox Jr. 1989; Safizadeh & Ritzman 1997)
L10	Surcapacité de production stratégique	X				X					X			(Cox Jr. 1989; Fine & Freund 1990)
L11	Point de découplage (affectation des commandes)	X				X						X		(Fisher 1997)
L12	Différenciation retardée	X				X						X		(Hoek 2000; Swaminathan & Lee 2003)
L13	Mutualisation de pièces par produit	X				X						X		(Eppinger & Ulrich 1995; Allen & Carlson-Skalak 1998; Gershenson et al. 2003) (Carter & Narasimhan 1990; Cooper et al. 1997; Nozick & Turnquist 1998; Prodhon 2006; Keskin & Üster 2007)
L14	Fréquence d'approvisionnement plus élevée		X					X			X			(Fisher 1997; Gupta & Somers 1996)
L15	Diminution de la durée figée d'approvisionnement (frozen horizon)		X					X			X			(Fisher 1997)
L16	Priorisation des ressources selon les produits, les commandes, etc. en fonction de la stratégie (chiffre d'affaire, rentabilité, ...)		X					X				X		(Fisher 1997)
L17	Flexibilité RH de production		X					X			X			(Cox Jr. 1989; Upton 1994; Suarez et al. 1995)
L18	Réduction du délai time to market		X			X					X			(De Treville et al. 2004; Lambert & Cooper 2000)
L19	Interfaces SI (BDD)			X					X				X	(Alfalla-Luque et al. 2012; Grover et al. 2013)
L20	Gestion de projet collaboratif			X					X				X	(Fisher 1997; Cao & Zhang 2011; Fiala 2005; Huang et al. 2003)
L21	Flux d'information plus rapides			X				X			X			(Jordan & Graves 1995; Cao & Zhang 2011; Zhou et al. 2014)
L22	Flux d'information plus fiables			X				X			X			(Fisher 1997; Jordan & Graves 1995; Grover et al. 2013; Zhou et al. 2014)
L23	Partage d'information			X				X					X	(Grover et al. 2013; Ramanathan & Gunasekaran 2014; Costantino et al. 2015)

Tableau 5.1 Récapitulative des leviers d'améliorations issues de la littérature

5.3 Proposition d'une méthodologie permettant l'établissement d'un plan d'actions d'amélioration des CR

Notre méthodologie se compose de trois étapes qui seront présentées dans les sections suivantes (voir figure 5.8).

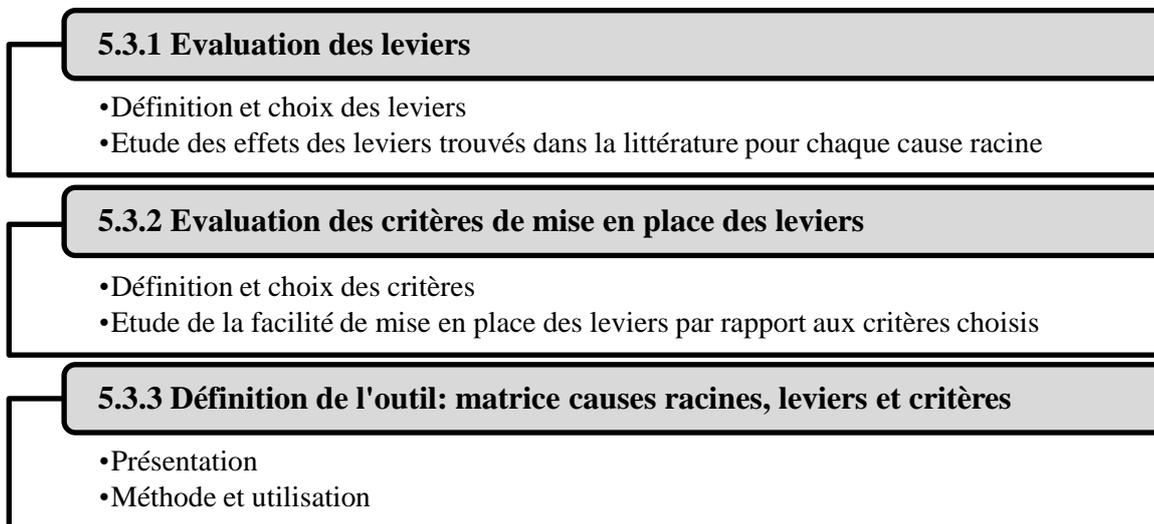


Figure 5.8 Etapes de la méthodologie d'établissement de plan d'actions pour réduire les paramètres des CRs, améliorant ainsi l'SOTD

Nous allons commencer par expliquer l'évaluation des leviers dans la section suivante.

5.3.1 Evaluation des leviers par rapport aux CRs

Définition et choix des leviers

La première étape de la méthodologie fait écho à notre état de l'art sur les différents leviers et actions d'amélioration des performances SC. En effet, de la même façon, dans un premier temps il est nécessaire d'acquérir une liste exhaustive et adaptée d'actions potentiellement à mettre en place afin d'améliorer le système étudié. Dans notre étude, nous allons, à titre d'exemple, utiliser la liste issue du tableau 5.1 présenté précédemment.

Pour ce faire, les décideurs utilisateurs de la méthodologie pourront par exemple se baser sur des études bibliographiques, des avis et/ou expertises métier de la part des acteurs de la Supply Chain, et/ou d'autres sources d'informations intéressantes pouvant mener à la création d'une base de données pertinentes de leviers d'amélioration de performances SC.

Etude des leviers

L'objectif est ensuite d'étudier les effets des leviers choisis pour chaque cause racine dans le but de définir à quel point ceux-ci peuvent améliorer les paramètres stochastiques des causes racines s'ils sont utilisés, et donc *in fine* améliorer les performances attendues.

Description de l'évaluation des leviers

Pour ce faire, il s'agit de relever matriciellement l'impact positif de la mise en place d'un levier sur chacun des causes racine grâce à un avis d'expert et aux résultats de la littérature. Celui-ci reflète le **niveau d'amélioration de la moyenne d'augmentation des délais altérés par une cause racine et de sa fréquence d'apparition, issu de la mise en place du levier considéré.**

On choisit ici que cette évaluation, présentée dans le tableau 5.2, s'effectue sur une échelle de 0 à 4 en ayant les valeurs suivantes :

Echelle: fréquence d'apparition et moyenne des impacts de délais

- 0 non, le levier n'améliore pas la fréquence (ou la moyenne de l'impact) de la cause racine
- 1 oui, mais peu significatif
- 2 oui, non négligeable
- 3 oui, significatif
- 4 oui, fortement

Tableau 5.2 Echelle d'évaluation pour la fréquence d'apparition et moyenne d'impact de pour les CRs

				Causes Racines (CR) →																		
				CR1 délai impacté: fournisseur		CR2 délai impacté: fournisseur		CR3 délai impacté: fournisseur		CR4 délai impacté: fournisseur		CR5 délai impacté: fournisseur		CR6 délai impacté: fournisseur		CR7 délai impacté: transmission		CR8 délai impacté: transmission		CR9 délai impacté: marge		
N°	Niveau décisionnel	Domaine	Famille de leviers	Leviers		freq	m	freq	m	freq	m	freq	m									
L1	Stratégique	Conception du réseau et de l'environnement d'approvisionnement	Réactivité améliorée / Minimisation des risques	Multi usines (back up)	1	1	4	4	2	2	1	1	3	3	0	0	3	3	1	1	4	4
L2				Multi usines (deux lead time différents)	1	1	3	3	2	2	1	1	3	3	0	0	3	3	1	1	4	4
L5			Multi modes de livraison	0	0	3	3	3	3	1	1	3	3	0	0	3	3	0	0	4	4	
L8		Réactivité améliorée	Sous traitance de capacité stockage	0	0	2	2	1	1	0	0	3	3	0	0	3	3	0	0	3	3	
L9		Définition de la structure de pilotage	Stocks stratégique de sécurité (position et quantification)	0	0	3	3	3	3	0	0	4	4	3	3	4	4	1	1	4	4	
L12	Tactique	Gestion et pilotage des opérations	Minimisation des risques	Différenciation retardée	1	1	1	1	3	3	0	0	4	4	0	0	4	4	3	3	2	2
L16				Priorisation des ressources selon les produits, etc. en fonction de la stratégie (chiffre d'affaire, rentabilité, ...)	2	3	3	3	2	2	0	0	3	3	1	1	3	3	2	3	2	2
L20			Organisationnel	Collaboration	Gestion de projet collaboratif	4	4	3	3	2	2	3	3	2	2	4	4	2	2	4	4	3
L21	Opérationnel	SI	Réactivité améliorée	Flux d'information plus rapides	3	3	2	2	3	3	4	4	3	3	4	4	3	3	3	3	3	3
L23			Collaboration	Partage d'information	4	4	3	3	3	3	4	4	2	2	4	4	2	2	4	4	3	3

Figure 5.9 Exemple de l'évaluation des leviers par rapport aux CR⁷

⁷« freq » correspond à l'impact du levier sur l'amélioration de la fréquence d'apparition de la cause racine
« m » correspond à l'impact du levier sur l'amélioration de la moyenne du délai altéré

A l'issu de cette étape, chaque ligne (levier) et chaque colonne (cause racine) doit être remplie selon ces critères (voir figure 5.9 précédente).

Traitement des causes racines

Ensuite, à chaque colonne (CR) de la matrice ainsi créée est associé un poids représentant la priorité de la CR. Cette pondération est directement issue de la priorisation des CR effectuée en 5.1.2. L'échelle choisie est une notation de 1 à 3 en fonction du niveau de priorité de traitement de la cause racine, présenté dans le tableau 5.3 qui suit :

Priorité CR:

- 1 Non prioritaire
- 2 Neutre
- 3 Important

Tableau 5.3 Echelle de priorités pour les CRs

Remarque : comme précédemment, nous considérons ici en priorité la démarche méthodologique plutôt que le contenu des matrices en lui-même. Ainsi, dans l'exemple qui suit, les évaluations des leviers se sont basées sur les résultats de la littérature. Dans une démarche complète de mise en place de la méthodologie, la notation des leviers devra être basée sur une analyse approfondie issue de tests ou un avis d'experts.

				Causes Racines (CR) →																			
				Priorité		CR1 délai impacté: fournisseur		CR2 délai impacté: fournisseur		CR3 délai impacté: fournisseur		CR4 délai impacté: fournisseur		CR5 délai impacté: fournisseur		CR6 délai impacté: fournisseur		CR7 délai impacté: transmission		CR8 délai impacté: transmission		CR9 délai impacté: marge	
N°	Niveau décisionnel	Domaine	Famille de leviers	Leviers		3	3	3	3	1	2	3	3	1	2	2	1	2	1	1	1	2	2
				freq	m	freq	m	freq	m	freq	m	freq	m	freq	m	freq	m	freq	m	freq	m	freq	m
L1	Stratégique	Conception du réseau et de l'environnement d'approvisionnement	Réactivité améliorée / Minimisation des risques	Multi usines (back up)	1	1	4	4	2	2	1	1	3	3	0	0	3	3	1	1	4	4	
L2			Multi usines (deux lead time différents)	1	1	3	3	2	2	1	1	3	3	0	0	3	3	1	1	4	4		
L5			Multi modes de livraison	0	0	3	3	3	3	1	1	3	3	0	0	3	3	0	0	4	4		
L8		Réactivité améliorée	Sous traitement de capacité stockage	0	0	2	2	1	1	0	0	3	3	0	0	3	3	0	0	3	3		
L9		Définition de la structure de pilotage	Stocks stratégique de sécurité (position et quantification)	0	0	3	3	3	3	0	0	4	4	3	3	4	4	1	1	4	4		
L12			Minimisation des risques	Différenciation retardée	1	1	1	1	3	3	0	0	4	4	0	0	4	4	3	3	2	2	
L16	Tactique	Gestion et pilotage des opérations		Priorisation des ressources selon les produits, etc. en fonction de la stratégie (chiffre d'affaire, rentabilité, ...)	2	3	3	3	2	2	0	0	3	3	1	1	3	3	2	3	2	2	
L20	Opérationnel	SI	Organisationnel	Collaboration	Gestion de projet collaboratif	4	4	3	3	2	2	3	3	2	2	4	4	2	2	4	4	3	3
L21			Réactivité améliorée	Flux d'information plus rapides	3	3	2	2	3	3	4	4	3	3	4	4	3	3	3	3	3	3	
L23			Collaboration	Partage d'information	4	4	3	3	3	3	4	4	2	2	4	4	2	2	4	4	3	3	

Figure 5.10 Exemple de l'évaluation des leviers par rapport aux CR avec ses priorités

Nous pouvons conclure que, une fois ce tableau rempli (voir figure 5.10), celui-ci nous permet d'évaluer l'efficacité des leviers face aux causes racines priorisées.

5.3.2 Evaluation des critères de mise en place des leviers

Il est important, dans la démarche de choix des leviers, de considérer, indépendamment de son efficacité face aux causes racines, si celui-ci peut être facilement implémentable ou non. En effet, un levier très efficace dans l'amélioration d'une CR mais, cependant, très contraignant à mettre en place en pratique sera d'une utilité faible pour l'entreprise. Ainsi, nous considérons ce critère de « facilité de mise en place » dans notre méthodologie.

Pour ce faire, il est tout d'abord nécessaire de définir précisément ces critères afin d'explicitier cette notion de « facilité de mise en place ».

Définition et choix des critères

Le choix des critères est inhérent au cadre d'étude dans lequel la méthodologie sera appliquée. Il dépend en effet directement du contexte de l'entreprise, de ses indicateurs de pilotage, et de sa stratégie.

A titre d'exemple, il peut être intéressant de considérer les coûts associés à l'implémentation d'un levier, le temps nécessaire pour sa mise en place, les autres ressources nécessaires pour sa mise en place (ressources humaines, ressources IT, ...), ou encore la cohérence vis-à-vis de la stratégie de l'entreprise, le ROI, etc.

Dans notre étude, nous choisissons, à titre d'exemple, trois critères : **le coût, le temps, et les autres ressources nécessaires** à la mise en œuvre de chaque levier.

Evaluation des critères

Description de l'évaluation des critères

Ensuite, chaque levier doit être évalué au travers de ces critères. A titre d'exemple, nous avons choisi une évaluation sur une échelle de 0 à 4 comme suit, tableau 5.4 :

<u>Echelle:</u>	Coût	Temps de mise en œuvre	Autres ressources nécessaires
0	très élevé	impossible	beaucoup
1	élevé	plusieurs années	conséquentes
2	moyen	plusieurs mois	relativement importantes
3	raisonnable	quelques semaines	faibles
4	très bon marché	quelques jours	très peu

Tableau 5.4 Critères d'évaluations des leviers d'amélioration

Cette évaluation est essentiellement basée sur l'expérience métier des acteurs impliqués dans la démarche d'amélioration, ainsi que par d'autres experts, appartenant par exemple au contrôle de gestion, au département IT, ou tout autre domaine impliqué dans la quantification de l'indicateur choisi de la mise en place d'un levier.

					<u>Critères →</u>		
					Coût	Temps de mise en place	Autres Ressources
N°	Niveau décisionnel	Domaine	Famille de leviers	Leviers			
L1	Stratégique	Conception du réseau et de l'environnement d'approvisionnement	Réactivité améliorée / Minimisation des risques	Multi usines (back up)	0	0	1
L2				Multi usines (deux lead time différents)	0	0	1
L5				Multi modes de livraison	2	2	3
L8		Définition de la structure de pilotage	Réactivité améliorée	Sous traitance de capacité stockage	3	3	3
L9				Stocks stratégique de sécurité (position et quantification)	3	2	3
L12				Différenciation retardée	1	1	1
L16	Tactique	Gestion et pilotage des opérations	Minimisation des risques	Priorisation des ressources selon les produits, etc. en fonction de la stratégie (chiffre d'affaire, rentabilité, ...)	3	4	3
L20	Opérationnel	Organisationnel	Collaboration	Gestion de projet collaboratif	2	1	2
L21		SI	Réactivité améliorée	Flux d'information plus rapides	2	2	2
L23			Collaboration	Partage d'information	2	2	2

Figure 5.11 Exemple de l'évaluation des leviers par rapport aux critères

Traitement des critères

De la même façon que les CR, ces critères seront ensuite priorisés en fonction de l'environnement de décision. Nous définissons pour ce faire des poids relatifs à chacun des critères, que le décideur affectera en les triant par **ordre d'importance** correspondant au mode de gestion du processus qui régit les flux.

Par exemple, nous avons, dans notre cas (voir tableau 5.5), considéré en priorité le critère du coût de mise en place (poids de valeur égale à 3), puis du temps requis pour l'implémentation du levier (poids=2), et enfin les autres ressources, type RH et IT, nécessaires au bon déroulement du déclenchement du levier (poids=1).

Priorité des critères:

- 1 Peu important
- 2 Important
- 3 Très important

Tableau 5.5 Echelle de priorités pour les critères

					<u>Critères →</u>			
					Coût	Temps de mise en place	Autres Ressources	
					Priorité	3	2	1
N°	Niveau décisionnel	Domaine	Famille de leviers	Leviers				
L1	Stratégique	Conception du réseau et de l'environnement d'approvisionnement	Réactivité améliorée / Minimisation des risques	Multi usines (back up)	0	0	1	
L2				Multi usines (deux lead time différents)	0	0	1	
L5				Multi modes de livraison	2	2	3	
L8		Définition de la structure de pilotage	Réactivité améliorée	Sous traitance de capacité stockage	3	3	3	
L9				Stocks stratégique de sécurité (position et quantification)	3	2	3	
L12				Différenciation retardée	1	1	1	
L16	Tactique	Gestion et pilotage des opérations	Minimisation des risques	Priorisation des ressources selon les produits, etc. en fonction de la stratégie (chiffre d'affaire, rentabilité, ...)	3	4	3	
L20	Opérationnel	Organisationnel	Collaboration	Gestion de projet collaboratif	2	1	2	
L21		SI	Réactivité améliorée	Flux d'information plus rapides	2	2	2	
L23			Collaboration	Partage d'information	2	2	2	

Figure 5.12 Exemple de l'évaluation des leviers par rapport aux critères avec ses priorités

A l'issue de cette étape, la matrice résultante du 5.3.1 sera ainsi accompagnée d'une autre matrice explicitant, pour chacun des leviers, leur « facilité » de mise en place relative aux critères choisis et triés par le décideur, et donc cohérents vis-à-vis à la fois de l'environnement métier, et également de la stratégie de pilotage de l'entreprise.

5.3.3 Définition de l'outil : matrice causes racines, leviers et critères

Après avoir choisi les leviers, avoir évalué leur efficacité face aux causes racines priorisées, et avoir jugé leur facilité de mise en œuvre face aux critères pondérés, nous passons dans cette section à l'exploitation de notre outil d'aide à la décision afin de mettre en place ces actions d'amélioration.

L'objectif de l'outil est d'étudier et d'analyser simultanément les deux dimensions définies précédemment que sont la facilité de mise en place par rapport aux critères choisis et leur efficacité dans l'amélioration des causes racines priorisées. Nous allons pour cela confronter les deux listes matricielles précédemment construites.

Présentation de l'outil

Cet outil vise à **déterminer le levier proposant le meilleur compromis entre «facilité de mise en place »**, et **« efficacité dans l'amélioration des causes racines »** tout en tenant compte des poids des critères (représentant **leur importance ou leur priorité dans la stratégie de gestion et de pilotage de l'entreprise**) et de **la priorisation des causes racines** (représentant dans quelles mesures l'amélioration d'un dysfonctionnement a un impact positif sur l'indicateur à améliorer au final).

Ce quadruple compromis devra être discuté par les décideurs, par les parties prenantes de l'activité associée au processus étudié, par le comité exécutif, ... et tout autre acteur impliqué, au travers notamment de la définition de la méthode d'évaluation des leviers face aux critères et aux causes racines (5.3.1 et 5.3.2 respectivement), et de leurs poids associés (5.1 pour les causes racines, et 5.3.2 pour les critères). Les échelles utilisées ici ont été définies arbitrairement dans le but de présenter la démarche. Il s'agira pour les acteurs utilisateurs de la méthodologie de déterminer quelles échelles potentielles pourront être les plus adaptées dans leur contexte industriel particulier.

Méthode et utilisation de l'outil

Dans notre exemple, nous avons utilisé une **méthode de « scoring »** de l'efficacité des leviers et de leur facilité de mise en place, pondérée respectivement par la priorité des causes racines et le poids des critères vis-à-vis des priorités de l'entreprise. Les deux scores sont ensuite comparés afin de conclure quant à la performance du levier dans le contexte voulu.

Ainsi, cette méthode de « scoring » est effectuée en trois parties:

- A. Calcul du score « efficacité moyenne pondérée par la priorisation des CR» de chaque levier.
- B. Calcul du score « facilité moyenne de mise en place pondérée par l'importance des critères » de chaque levier.
- C. Comparaison des scores et prise de décision.

Nous présentons pour chacune de ces sections des exemples issus des leviers précédemment présentés. L'ensemble des scores est regroupé en annexe technique (section B.3.3).

A. Exemples de calcul du score « efficacité moyenne pondérée »

A titre illustratif, le levier *L1* voit son score égal à 2,17 (sur 4), ce qui correspond à la moyenne pondérée des scores de 0 à 4 du levier pour chacune des causes racines, dont les coefficients de pondération correspondent à la priorité de chacune d'entre elles, évaluées de 1 à 3 grâce au 5.1 :

$$\frac{1 \times 3 + 1 \times 3 + 4 \times 3 + 4 \times 3 + 2 \times 1 + 2 \times 2 + 1 \times 3 + 1 \times 3 + 3 \times 1 + 3 \times 2 + 0 \times 2 + 0 \times 1 + 3 \times 2 + 3 \times 1 + 1 \times 1 + 1 \times 1 + 4 \times 2 + 4 \times 2}{3 + 3 + 3 + 3 + 1 + 2 + 3 + 3 + 1 + 2 + 2 + 1 + 2 + 1 + 1 + 2 + 2} = 2,17$$

N°	Niveau décisionnel	Domaine	Famille de leviers	Leviers	Priorité 3		Priorité 2		Priorité 1		Priorité 0		Score												
					freq	m	freq	m	freq	m	freq	m													
L1	Stratégique	Conception du réseau et de l'environnement d'approvisionnement	Réactivité améliorée / Minimisation des risques	Multi usines (back up)	1	1	4	4	2	2	1	1	3	3	0	0	3	3	1	1	4	4	78	2,17	
L2				Multi usines (deux lead time différents)	1	1	3	3	2	2	1	1	3	3	0	0	3	3	1	1	4	4	72	2,00	
L5			Réactivité améliorée	Multi modes de livraison	0	0	3	3	3	3	1	1	3	3	0	0	3	3	0	0	4	4	67	1,86	
L8				Sous traitance de capacité stockage	0	0	2	2	1	1	0	0	3	3	0	0	3	3	0	0	3	3	45	1,25	
L9		Définition de la structure de pilotage	Minimisation des risques	Stocks stratégique de sécurité (position et quantification)	0	0	3	3	3	3	0	0	4	4	3	3	4	4	1	1	4	4	78	2,17	
L12				Différenciation retardée	1	1	1	1	3	3	0	0	4	4	0	0	4	4	3	3	2	2	59	1,64	
L16				Priorisation des ressources selon les produits, etc. en fonction de la stratégie (chiffre d'affaire, rentabilité, ...)	2	3	3	3	2	2	0	0	3	3	1	1	3	3	2	3	2	2	73	2,03	
L20		Opérationnel	SI	Collaboration	Gestion de projet collaboratif	4	4	3	3	2	2	3	3	2	2	4	4	2	2	4	4	3	3	110	3,06
L21				Réactivité améliorée	Flux d'information plus rapides	3	3	2	2	3	3	4	4	3	3	4	4	3	3	3	3	3	3	111	3,08
L23	Collaboration			Partage d'information	4	4	3	3	3	3	4	4	2	2	4	4	2	2	4	4	3	3	119	3,31	

Figure 5.13 Exemple du calcul de l'évaluation levier/CR

Il est intéressant de constater ici une non-homogénéité des scores des leviers face aux causes racines. Trois raisons peuvent expliquer cette constatation :

- Nous avons tout d'abord des leviers qui, en théorie, sont des leviers ou actions à mettre en place intéressants pour la Supply Chain de l'entreprise. Cependant, certains de ces leviers semblent être fructueux seulement dans l'amélioration des CR non prioritaires. Leur score étant pondéré par cette priorisation, il en est ainsi diminué (exemples des leviers *L5*, *L8* et *L12*).
- Certains leviers à l'inverse, ont des bons scores affectés à des causes racines prioritaires. Ceux-ci ont donc globalement une moyenne pondérée plus élevée (exemples de *L9* et *L1*).
- Enfin, les leviers dont les efficacités sont déjà plus ou moins homogènes sur l'ensemble des CR conservent leur bon score global (exemple de la famille des leviers collaboratifs *L20*, *L21*, *L23*).

Le principe de pondération permet donc de mettre en relief le caractère adapté ou non d'un levier.

B. Exemples de calcul du score « facilité moyenne pondérée »

De la même façon, la figure 5.14, nous montre que la ligne L1 voit son score égal à 0,17, ce qui correspond à la moyenne pondérée des scores de 0 à 4 du levier face à chacun des critères, dont les coefficients de pondération correspondent à leur priorité, évaluées de 1 à 3 grâce au 5.3.2 :

$$\frac{0 \times 3 + 0 \times 2 + 1 \times 1}{3 + 2 + 1} = 0,17$$

					Critères →						
					Coût	Temps de mise en place	Autres Ressources				
					Priorité	3	2	1	6	Score	
N°	Niveau décisionnel	Domaine	Famille de leviers	Leviers							
L1	Stratégique	Conception du réseau et de l'environnement d'approvisionnement	Réactivité améliorée / Minimisation des risques	Multi usines (back up)	0	0	1	1	0,17		
L2				Multi usines (deux lead time différents)	0	0	1	1	0,17		
L5					Multi modes de livraison	2	2	3	13	2,17	
L8				Réactivité améliorée	Sous traitance de capacité stockage	3	3	3	18	3,00	
L9	Tactique	Gestion et pilotage des opérations	Minimisation des risques	Stocks stratégique de sécurité (position et quantification)	3	2	3	16	2,67		
L12					Différenciation retardée	1	1	1	6	1,00	
L16					Priorisation des ressources selon les produits, etc. en fonction de la stratégie (chiffre d'affaire, rentabilité, ...)	3	4	3	20	3,33	
L20	Opérationnel	SI	Collaboration	Gestion de projet collaboratif	2	1	2	10	1,67		
L21					Réactivité améliorée	Flux d'information plus rapides	2	2	2	12	2,00
L23					Collaboration	Partage d'information	2	2	2	12	2,00

Figure 5.14 Exemple du calcul de l'évaluation levier/critères

On constate naturellement que les leviers à horizon de temps stratégiques nécessitent des ressources financières, temporelles, et autres (humaines, SI, ...) importantes. Leur score de facilité de mise en place est donc logiquement relativement faible (L1 et L2).

C. Comparaison des scores et prise de décision

Causes racines (CR) →		Critères →																		Score	Critères →				Score total sur 8	Score classement		
		Priorité		CR1 délai impacté: fournisseur		CR2 délai impacté: fournisseur		CR3 délai impacté: fournisseur		CR4 délai impacté: fournisseur		CR5 délai impacté: fournisseur		CR6 délai impacté: fournisseur		CR7 délai impacté: fournisseur		CR8 délai impacté: transmission			CR9 délai impacté: transmission		Coût				Temps de mise en place	
N°	Leviers	freq	m	freq	m	freq	m	freq	m	freq	m	freq	m	freq	m	freq	m	freq	m	Score	Priorité	3	2	1	6	Score	Score total sur 8	Score classement
L1	Multi usines (back up)	1	1	4	4	2	2	1	1	3	3	0	0	3	3	1	1	4	4	78	2,17	0	0	1	1	0,17	2,33	16
L2	Multi usines (deux lead time différents)	1	1	3	3	2	2	1	1	3	3	0	0	3	3	1	1	4	4	72	2,00	0	0	1	1	0,17	2,17	6
L5	Multi modes de livraison	0	0	3	3	3	3	1	1	3	3	0	0	3	3	0	0	4	4	67	1,86	2	2	3	13	2,17	4,03	17
L8	Sous traitance de capacité stockage	0	0	2	2	1	1	0	0	3	3	0	0	3	3	0	0	3	3	45	1,25	3	3	3	18	3,00	4,25	22
L9	Stocks stratégique de sécurité (position et quantification)	0	0	3	3	3	3	0	0	4	4	3	3	4	4	1	1	4	4	78	2,17	3	2	3	16	2,67	4,83	37
L12	Différenciation retardée	1	1	1	1	3	3	0	0	4	4	0	0	4	4	3	3	2	2	59	1,64	1	1	1	6	1,00	2,64	9
L16	Priorisation des ressources selon les produits, etc. en fonction de la stratégie (chiffre d'affaire, rentabilité, ...)	2	3	3	3	2	2	0	0	3	3	1	1	3	3	2	3	2	2	73	2,03	3	4	3	20	3,33	5,36	32
L20	Gestion de projet collaboratif	4	4	3	3	2	2	3	3	2	2	4	4	2	2	4	4	3	3	110	3,06	2	1	2	10	1,67	4,72	31
L21	Flux d'information plus rapides	3	3	2	2	3	3	4	4	3	3	4	4	3	3	3	3	3	3	111	3,08	2	2	2	12	2,00	5,08	34
L23	Partage d'information	4	4	3	3	3	3	4	4	2	2	4	4	2	2	4	4	3	3	119	3,31	2	2	2	12	2,00	5,31	43

Tableau 5.6 Exemple de l'outil de l'aide à la décision pour choisir les leviers à implémenter

A l'issue des calculs des moyennes pondérées, nous sommes finalement en présence de deux scores (ici pris arbitrairement sur 4) représentant à la fois l'efficacité des leviers par rapport aux causes racines priorisées et leur facilité de mise en œuvre par rapport à des critères triés stratégiquement par et pour l'entreprise.

Le principe de l'étape suivante est d'analyser comparativement chacun des leviers afin d'en faire ressortir le meilleur compromis pour l'utilisateur. Plusieurs méthodes plus ou moins quantitatives d'analyses pourront être mise en œuvre par les décideurs.

Nous en choisissons spécifiquement deux : la sommation simple des scores afin d'atteindre un niveau représentatif sur 8, et le classement de chacun des leviers puis évaluation par points.

Dans le premier cas, les leviers peuvent être triés par note sur 8. Ceci a l'avantage de la simplicité d'utilisation, mais considère que les deux scores pondérés sur 4 ont le même impact dans la démarche de choix. Dans le deuxième cas, les scores finaux sont plus équilibrés, puisqu'ils tiennent compte du classement des leviers dans chacune des évaluations, et non de leur score (voir tableau 5.6).

Il s'agira cependant de définir en précisément la méthode analytique choisi par les décideurs utilisateurs pour conclure quant au tri des leviers, sachant l'information que les matrices et scores présentées précédemment représentent.

Dans notre exemple, plusieurs cas de figure représentatifs apparaissent ici, qui sont plus ou moins intéressants pour l'entreprise :

- Certains leviers ont une bonne évaluation face aux CRs mais leur implémentation est coûteuse. Il n'est donc pas intéressant de les considérer pour la suite (exemples : *L1* et *L2*).
- D'autres leviers semblent, en premier lieu, peu adaptés face aux CRs. Pourtant, leur critère de « coût » n'étant pas très élevé, ils ont au final un score global intéressant. C'est le cas par exemple des leviers : *L5*, *L8* et *L12*.
- Plusieurs leviers sont une bonne option face aux CRs, et le sont également pour les critères de facilité de mise en œuvre. Ceux-ci sont donc à la fois faciles à implémenter, et permettent un meilleur pilotage des opérations, adapté. Ils obtiennent donc un bon score global. Parmi eux, nous trouvons les leviers : *L20*, *L21* et *L23*.
- Quelques leviers sont un bon compromis entre leur efficacité face aux CRs et leur facilité de mise en œuvre. Comme exemple nous trouvons les leviers *L9*, et *L16*.

La méthode de « scoring » par pondération permet aux **décideurs de définir les valeurs de pondérations** (à la fois de la priorité des causes racines et des critères), et donc d'**adapter l'outil à leurs besoins** (par rapport à leurs attentes, mais également à leur environnement).

Ensuite, les leviers peuvent être **triés par scoring** croissant **d'efficacité d'un côté**, et par scoring décroissant **des critères de l'autre** (couts, ressources, ...).

Cette démarche permet d'avoir toutes les informations en main afin de prendre la décision la plus adaptée : le « meilleur choix » n'existe pas, mais le « bon choix » sera alors celui du décideur qui aura grâce à ces matrices **une bonne vision pour évaluer la pertinence d'une mise en place d'un levier par rapport à un autre.**

5.4 Conclusions du chapitre 5

A l'issue de ce chapitre 5, nous pouvons conclure que :

- Les résultats de la simulation permettent d'identifier la sensibilité de l'indicateur face aux causes racines (CR), et ainsi de les quantifier afin de savoir quelles sont les CR qui l'impactent le plus.
- La méthodologie de plan d'actions que nous proposons aide les managers à prendre une décision quant aux actions à mettre en place afin d'améliorer l'indicateur priorisé. Pour cela, elle est constituée de plusieurs étapes:
 - Choix et évaluation des leviers à mettre en place, en fonction de leur efficacité face aux causes racines.
 - Choix des critères d'évaluation des leviers par rapport à la stratégie de l'entreprise et du mode de pilotage de l'entreprise, et leur facilité de mise en œuvre, et priorisation.
 - Evaluation des leviers face aux critères choisis.
 - Comparaison des leviers en fonction des scorings obtenus.

Dans la partie suivante, nous allons récapituler nos conclusions générales et perspectives des méthodologies proposées au sein de cette thèse.

Conclusions et perspectives

Ce travail de recherche «*Contribution à l'amélioration de la performance globale de la Supply Chain: cas de la sous-traitance de la production aéronautique.*», a été effectué dans le cadre de la collaboration entre Dassault Aviation et le laboratoire Génie Industriel de l'Ecole Centrale Paris. Ce sujet des sciences de l'ingénieur a été défini pour répondre à des aspirations industrielles et académiques. En définissant la Supply Chain (SC) aéronautique comme un **système sociotechnique et complexe**, nous avons posé notre problématique et notre positionnement académique en aboutissant à la formulation des trois questions de recherche suivantes :

1. Comment modéliser la Supply Chain aéronautique en tant que système organisationnel complexe, et en particulier les activités (d'approvisionnement) de la sous-traitance?
2. Comment mesurer et analyser les dysfonctionnements destructeurs de valeurs au sein du système organisationnel complexe modélisant les activités de la sous-traitance?
3. Comment établir une méthodologie de mise en place d'un plan d'actions qui améliore les processus créateurs de valeurs de la sous-traitance, en diminuant les effets négatifs des dysfonctionnements précédemment étudiés?

Notre première contribution est un modèle de représentation de la Supply Chain aéronautique par une approche systémique, ainsi que la démarche de construction du modèle lui-même. Par conséquent, **cette première contribution est double: méthodologique et pratique**. D'un point de vue méthodologique, la combinaison de la méthode SCOS'M et du domaine d'application est une originalité de ce travail, qui vient enrichir le champ de recherche sur les systèmes complexes et le domaine de la Supply Chain. Le processus de modélisation que nous avons mis en œuvre pourra être transposé à un autre système sociotechnique et complexe, ou à un autre sous-système de la SC. D'un point de vue pratique, notre modélisation permet l'étude d'une SC existante d'un point de vue technico-économique et organisationnel. Dans l'avenir, d'autres points de vue (environnemental, etc.) pourront être considérés afin de traiter plus d'attentes de la part des acteurs et d'autres sous-systèmes de la SC.

Notre deuxième contribution est la construction d'une approche d'aide au pilotage pour l'amélioration de performances du sous-système étudié (étant le SOTD, l'indicateur de performance de la sous-traitance de production retenue pour notre travail), en analysant les processus générateurs de valeur et en simulant ses dysfonctionnements. Nous avons proposé une **méthodologie pour analyser ces dysfonctionnements générateurs de destruction de la valeur attendue de cet indicateur retenu**. C'est le couplage des méthodes comme le diagramme Ishikawa, le diagramme des flux, le diagramme Pareto, la modélisation sous incertitude, etc., afin de comprendre les sources des dysfonctionnements potentielles, qui donne à cette méthodologie son originalité.

Cette méthodologie est composée de **deux parties** :

La **première** permet tout d'abord d'**identifier les causes des dysfonctionnements** du processus étudié, impactant négativement en conséquence l'indicateur mesurant la performance de ce processus. Pour ce faire, deux études détaillées du processus sous-traitance de la production et de son indicateur priorisé ont été présentées. La première se compose tout d'abord de **plusieurs méthodes analytiques qualitatives et quantitatives** dont le but est **d'approfondir la caractérisation du processus choisi** : une **étude chronologique** nous renseigne sur les détails du processus (au niveau temporel, au niveau des actions réalisées, des acteurs impliqués, des variables utilisées, de leurs rôles et de leurs utilisations dans les prises de décision au sein du processus) ; une **identification des variables** nous montre quelles sont les variables influençant l'indicateur priorisé en explicitant les relations qualitatives entre les causes racines (CR) et les détails des opérations dans lesquelles elles interviennent. La deuxième étude concerne plus spécifiquement les causes racines (CR) : un examen approfondi a en effet été effectué afin **de les catégoriser et d'étudier leur origine**. Enfin, une analyse des données a permis la **quantification** de leurs paramètres probabilistes, au travers de la définition de leur **fréquence d'apparition** et de leur **gravité d'impact** se traduisant potentiellement par une augmentation des délais.

La **deuxième partie** nous a permis de **modéliser et de simuler l'impact des dysfonctionnements sur notre indicateur d'intérêt**. Tout d'abord, grâce à la première partie, la **définition du modèle** sous incertitude est réalisée en définissant les variables (données d'entrée et leurs caractéristiques stochastiques, indicateur de sortie), les paramètres industriels de la SC et les paramètres de simulation. Ensuite, une simulation par méthode de Monte Carlo est réalisée au travers de la **génération d'observations et du calcul de chaque**

output du système associé. Une distribution a posteriori des variables de sortie est ainsi construite, ce qui nous a permis de modéliser l'indicateur priorisé. Enfin, une analyse de **sensibilité** est réalisée en faisant varier les paramètres « fréquence » et « gravité » de chacune des CRs afin d'identifier celles pour lesquelles **l'indicateur priorisé est le plus sensible**.

Cette contribution nous a finalement permis d'identifier, d'analyser et de modéliser, et de quantifier les causes réelles et pratiques de destruction de valeur et leurs impacts, et donc de comprendre dans quelles mesures celles-ci impactent les performances du système considéré.

Notre troisième contribution consiste en **une méthodologie d'aide la décision permettant d'établir un plan d'actions d'amélioration des performances SC améliorant l'indicateur priorisé**. Tout d'abord, nous proposons une **synthèse des leviers d'amélioration de performances** en s'appuyant sur la littérature. Ensuite, ces leviers sont choisis et définis suivant la stratégie et le pilotage de l'entreprise analysée. Une démarche **d'aide à la décision** est présentée : les leviers d'amélioration précédemment sélectionnés sont dans un premier temps évalués selon leur efficacité pour réduire la fréquence d'apparition ou l'impact des CRs. Celles-ci étant priorisées (contribution numéro 2), les leviers sont ainsi triés selon leur influence globale par rapport non seulement à leur efficacité mais également à leur utilité pour le processus sélectionné. Dans un deuxième temps, ils sont également évalués en fonction de **critères définis** par l'entreprise afin d'illustrer leur facilité d'implémentation (coût, délai,...). L'outil qualitatif finalement présenté permet donc in fine à l'utilisateur d'avoir une vision exhaustive de leviers, mis en relief par l'évaluation de leur efficacité, de leur utilité, et de leur « facilité » de mise en place définie par l'entreprise.

Ici, nous proposons de façon générale une démarche afin de définir et d'utiliser cet outil, plutôt que son exploitation précise dans notre cas d'étude. Nous illustrons cependant avec des exemples complets les effets que ces leviers théoriques peuvent avoir sur les CRs identifiés et comment ils peuvent être vus au travers de l'outil.

Le choix et évaluation des leviers face aux CRs et des critères seront à définir en fonction de la stratégie industrielle de l'entreprise. L'originalité de cet outil réside donc également dans sa flexibilité, tant au niveau des actions d'amélioration que de leurs critères de sélection. On pourra ainsi adapter aux différentes politiques de pilotage possibles, et également à différents environnements industriels. La décision finale restera une décision des décideurs.

Enfin, les contributions industrielles de notre travail se situent à deux niveaux. Le premier concerne la **compréhension des mécanismes de la SC** au niveau organisationnel et sociotechnique. A travers la méthode SCOS'M, nous avons identifié tous les mécanismes qui interagissent dans l'évolution du sous-système sous-traitance de la production aéronautique, ainsi que ses acteurs, les informations concernant chaque partie du processus choisi et les indicateurs clés qui participent à la recherche de bonnes performances SC. Ensuite, au travers du traitement de l'indicateur priorisé, nous avons pu identifier les sources de dysfonctionnements potentielles qui l'impactent et nous avons pu quantifier son influence sur cet indicateur.

Le deuxième niveau concerne **l'amélioration continue des processus SC** face aux dysfonctionnements potentiels référencés précédemment. Ici, nous avons pu identifier des leviers et proposer une démarche de sélection, pouvant déboucher sur l'amélioration des indicateurs choisis en fonction des critères prioritaires pour l'entreprise. Ces leviers permettent, lorsqu'ils sont mis en place, de réagir contre les dysfonctionnements afin de réduire leurs effets négatifs.

Limites et perspectives

Le travail présenté dans ce rapport est le fruit de trois années. Des simplifications (sur le processus étudié) et des hypothèses (sur les modélisations présentées) ont été adoptées tout au long de cette thèse. En effet, nous avons rencontré plusieurs difficultés pendant l'application de nos méthodologies qui nous ont forcés à définir un cadre simplificateur au travers des hypothèses suivantes:

- Pour la méthode SCOS'M, nous avons réalisé des entretiens semi-directifs (avis des experts) auprès des acteurs concernés dans la sous-traitance de la production. Pourtant, d'autres sous-systèmes (planification, achats et approvisionnement, fabrication interne, ...), d'autres acteurs de la SC (Planeurs, Acheteurs, Ingénieurs de production, ...), et d'autres critères/ou axes de performances (comme par exemples l'axe économique ou les autres axes opérationnels comme la qualité des produits et indicateurs environnementaux, ...) auraient pu être considérés afin d'avoir une appréciation plus complète et générale de l'ensemble de la SC.
- En ce qui concerne le traitement de l'indicateur priorisé, nous avons eu des difficultés pour collecter des données réelles utilisées dans la quantification des CRs et dans la simulation de leurs impacts. Pour cela, nous n'avons pas pu approfondir l'étude des

dysfonctionnements pour mieux comprendre leurs origines, notamment dans la caractérisation de leurs paramètres probabilistes. Un travail analytique basé sur une période plus longue du processus étudié aurait pu nous apporter plus de robustesse dans cette quantification.

- Enfin, concernant l'outil d'aide à la décision pour la mise en place d'un plan d'action, nous avons considéré un ensemble de leviers et critères génériques, dont nous n'avons pas eu le temps de valider la robustesse dans le temps de notre travail. De plus, leur évaluation s'est exclusivement basée sur un avis d'experts et la littérature. Une étude des leviers et des actions adaptés, jusque la mesure effective de leur efficacité, dans le contexte particulier de l'entreprise d'accueil, aurait pu être générateur d'intérêt pratique pour le partenaire industriel, notamment d'un point de vue économique.

En conséquence, en termes de perspectives, nous avons identifié **trois** perspectives majeures.

La première perspective est d'élargir le périmètre d'application de la méthodologie SCOS'M (accompagnée des matrices MDM). Dans notre travail nous avons choisi de l'appliquer à la sous-traitance de la production ; pourtant, elle peut également être appliquée à **d'autres sous-systèmes de la SC** et à d'autres secteurs industriels. De la même façon, nous pouvons inclure aussi **d'autres indicateurs de performance** à étudier (comme le coût d'une commande, la qualité des inventaires, la qualité de la nomenclature,), sous condition d'être considérés par les acteurs comme prioritaires selon la stratégie et pilotage de l'entreprise.

La deuxième perspective est d'utiliser d'autres sources permettant une modélisation plus précise des CR, afin d'améliorer la qualité des variables qui caractérisent les impacts des causes racines. Elles pourraient alors être simulées de façon plus précise pour quantifier la sensibilité des indicateurs priorisées et donc participer à l'amélioration qualité de l'étude des facteurs destructeurs de valeur.

La troisième perspective est de réaliser une évaluation quantitative du choix et de l'efficacité des actions, et également de mesurer l'évolution de la performance une fois les leviers appliqués. Dans notre travail nous avons choisi de faire une évaluation qualitative des critères car notre intérêt est de proposer une démarche d'aide à l'élaboration d'un choix. Il serait dans ce contexte alors intéressant d'approfondir et aboutir à une évaluation quantitative, par exemple « économique », sur l'efficacité qu'un levier a par rapport à un autre dans l'amélioration des effets des causes racines. Dans ce cas, ce suivi chiffré pourrait également

être utilisé dans le suivi de l'évolution de la mesure de performances. Enfin, dans une démarche d'amélioration continue, le suivi des performances pourrait être également utilisé comme information d'entrée de notre outil grâce à une boucle fermée, ayant comme possibles utilité l'amélioration de la justesse de l'évaluation des leviers, afin d'augmenter la précision de l'outil.

Publications et Communications

Revues internationales avec comité de lecture

Olmos-Sanchez, D. & Bocquet, J.-C. 2016. Towards a systemic understanding of Supply Chain improvement: proposition of a multi-methodology to increase supplier performance. *Journal of Business Research* (Article soumis en septembre 2016).

Actes de Conférences internationales avec comité de lecture

Olmos-Sanchez, D., Bocquet, J.-C. & Forman, M.-A., 2016. A Systems Approach to Improve Performance in Supply Chain: Case Study in a procurement Process in the Aeronautical Industry. *Complex Systems Design & Management*. CSDM, 2015. Paris, France.: Springer International Publishing Switzerland, p. 297.

Olmos-Sanchez, D. & Bocquet, J.-C., 2016. Towards a methodology to improve Supply Chain Performance through the analysis of outsourcing production processes: application to aeronautics sector. *Operational Research 58 (OR58)*. Portsmouth, UK.

Conférences internationales sans comité de lecture

Olmos-Sanchez, D. & Bocquet, J.-C., 2016. Contribución a la mejora del rendimiento de la cadena de suministro: caso de la subcontratación de la producción en la industria aeroespacial. *5^o Simposio Becarios CONACyT en Europa, 2016*. Maison Universitaire Franco-Mexicaine. Strasbourg, France.

Conférences nationales sans comité de lecture

Olmos-Sanchez, D. & Bocquet, J.-C., 2014. Amélioration de la Performance Globale de la Supply Chain avec une approche systémique : Application dans l'industrie aéronautique. *Colloque de Recherche Inter Écoles Centrales*. CRIEC, 2014. Lyon, France.

Bibliographie

- AFNOR, Association Française de Normalisation. Available at: <http://www.boutique.afnor.org/techRedirAff.aspx> [Accessed June 3, 2015].
- Airbus Group, 2012. *Bienvenue dans le monde d'Airbus*, Paris, France. Available at: http://www.manatour.fr/sites/manatour/files/guide-enseignants_airbus_v01022015_sans_code.pdf.
- Alfalla-Luque, R., Medina-Lopez, C. & Schrage, H., 2012. A study of supply chain integration in the aeronautics sector. *Production Planning & Control*, 7287(July 2015), pp.1–16.
- Allen, K.R. & Carlson-Skalak, S., 1998. Defining product architecture during conceptual design. In *1998 ASME Design Engineering Technical Conference, Atlanta, GA*.
- Amrani-Zouggar, A., 2009. *Impact des contrats d'approvisionnement sur la performance de la chaîne logistique : modélisation et simulation*. Université Bordeaux 1.
- APICS, 2014. APICS Introduction to Sales and Operations Planning (S&OP). *APICS Foundation*. Available at: http://apics-vancouver.org/images/downloads/PDM_s/apics_introduction_to_s_op_handout.pdf [Accessed May 9, 2016].
- Arda, Y., 2008. *Politiques d'approvisionnement dans les systèmes à plusieurs fournisseurs et Optimisation des décisions dans les chaînes logistiques décentralisées*. Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse.
- Aven, T., 2003. *Foundations of Risk Analysis: A Knowledge and Decision-Oriented Perspective* 2nd editio., John Wiley & Sons Ltd.
- Babai, M.Z., 2005. *Politiques de pilotage de flux dans les chaînes logistiques : impact de l'utilisation des prévisions sur la gestion des stocks*. Ecole Centrale Paris.
- Beamon, B.M., 1999. Measuring supply chain performance. , 19(3), pp.275–292.
- Beamon, B.M., 1998. Supply Chain Design and Analysis : Models and Methods. , (1), pp.1–22.
- Bertalanffy, L. von, 1973. *Théorie générale des systèmes*. Dunod, ed., Paris, France.
- Bitton, M., 1990. *ECOGRAI: Méthode de conception et d'implantation de systèmes de mesure de performance pour organisations industrielles*. Université Bordeaux 1.
- Bocquet, J.-C. et al., 2007. How to build a design system and tis end product system? An original approach called SCOS. In *International Conference on Engineering Desing, ICED*. Paris, France, pp. 1–10.
- Bodozgan, K., 2010. Towards An Integration Of The Lean Enterprise System , Total Quality Management , Six Sigma And Related Enterprise Process Improvement Methods. , (August), pp.1–23. Available at: <http://esd.mit.edu/WPS/2010/esd-wp-2010-05.pdf>.
- Cao, M. & Zhang, Q., 2011. Supply chain collaboration: Impact on collaborative advantage and firm performance. *Journal of Operations Management*, 29(3), pp.163–180. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0272696310001075> [Accessed January 21, 2014].
- Carter, J.R. & Narasimhan, R., 1990. Purchasing in the International marketplace: implications for operations. *Journal of Purchasing and Materials Management*, 26, pp.2–11.

- CESR, 2007. *Autosaisine sur "La Sous-traitance Industrielle en Aquitaine face aux mutations structurelles,"* Bordeaux, France. Available at: <http://www.ceser-aquitaine.fr/informations/avisrapports/rapports/2007/sous-traitance/rapport-complet.pdf>.
- Chan, F.T.S. & Qi, H.J., 2003. An innovative performance measurement method for supply chain management. *Supply Chain Management: An International Journal*, 8(3), pp.209–223. Available at: <http://dx.doi.org/10.1108/13598540310484618>.
- Chopra, S. & Meindl, P., 2001. *Supply chain management: strategy, planning and operation* Prentice Hall, ed.,
- Clarkson, P.J., Simons, C. & Eckert, C., 2004. Predicting Change Propagation in Complex Design. *Journal of Mechanical Design*, 126, pp.788–797.
- CNI, 2013. *Rapport annuel du Conseil National de l'Industrie*, Available at: <http://www.entreprises.gouv.fr/files/2014-03-rapport-cni-2013.pdf>.
- Cohen, S. & Roussel, J., 2005. *Strategic Supply Chain Management*, McGraw-Hill, ed., New York.
- Cooper, M.C. et al., 1997. Meshing multiple alliances. *Journal of Business Logistics*, 18(1), p.67.
- Costantino, F. et al., 2015. The impact of information sharing on ordering policies to improve supply chain performances. *Computers and Industrial Engineering*, 82, pp.127–142. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cie.2015.01.024>.
- Cox Jr., T., 1989. Toward the measurement of manufacturing flexibility. *Production and Inventory Management Journal*, 30(1), pp.68–72.
- CQPM, 2014. *La filière aéronautique : synthèse de l'étude des besoins de professionnalisation*, Available at: http://www.cqpm.fr/uploads/documents/Synthèse_filière_aéronautique_V20140527.pdf.
- Dallery, Y., 2000. *Notes de cours de logistique industrielle*, Ecole Centrale Paris.
- Dassault Aviation, 2013. *Manuel de Qualité*, Paris, France.
- Dassault Aviation, 2015. *Performance Opérationnelle SC*, Paris, France.
- Dassault Aviation, 2014a. *Rapport annuel 2014*, Paris, France.
- Dassault Aviation, 2014b. *Rapport de Sous-traitance*, Paris, France.
- Davidz, H.L., 2006. *Enabling systems thinking to accelerate the development of senior systems engineers*. Massachusetts Institute of Technology.
- Deleris, L.A. & Erhun, F., 2005. Risk management in supply networks using Monte-Carlo simulation. In *Winter Simulation Conference*. pp. 1643–1649.
- Deloitte, 2015. *Global aerospace and defense outlook: growth for commercial aerospace defense decline continues 2015*, Available at: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/global/Documents/Manufacturing/gx-mnfg-2015-global-a-and-d-outlook.pdf>.
- Dixon, J.R., Nanni, A.J. & Volmann, T.E., 1990. *New Performance Challenge: Measuring Operations for World-Class Competition* Homewood, ed., Ill: Irwin Professional Publishing.
- Durand, D., 2013. *La systémique: que sais-je?* PUF, ed., Paris, France.: Presses universitaires de France.
- Eppinger, S.D. & Browning, T.R., 2012. *Design Structure Matrix: Methods and Applications*

- Illustrated, ed., MIT Press.
- Eppinger, S.D. & Ulrich, K.T., 1995. *Product design and development* First., New York: McGraw Hill.
- Fabbe-Costes, N., 2002. Evaluer la création de valeur du Supply Chain Management. *Logistique et Management*, 10(1), pp.29–36.
- Féniès, P., 2006. *Une méthodologie de modélisation par processus multiples et incrémentiels : application pour l'évaluation des performances de la Supply Chain*. Université Blaise Pascal-Clermont II.
- Fiala, P., 2005. Information sharing in supply chains. *Omega*, 33(5), pp.419–423.
- Fine, C.H. & Freund, R.M., 1990. Optimal Investment in Product-Flexible Manufacturing Capacity. *Management Science*, 36(4), pp.449–466. Available at: <http://dx.doi.org/10.1287/mnsc.36.4.449>.
- Fisher, M.L., 1997. What is the right supply chain for your product? *Harvard business review*, 75, pp.105–117.
- Galbraith, J.R., 1973. *Designing complex organizations*, Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc.
- Galbraith, J.R., 1977. Organization design: An information processing view. *Organizational Effectiveness Center and School*, 21, pp.21–26.
- Gallagher, T.J. & Andrew, J.D., 2000. *Financial management: principles and practice*, Prentice Hall.
- Gershenson, J.K., Prasad, G.J. & Zhang, Y., 2003. Product modularity: Definitions and benefits. *Journal of Engineering Design*, 14(3), pp.295–313. Available at: <http://www.tandfonline.com/action/journalInformation?journalCode=cjen20%5Cnhttp://dx.doi.org/10.1080/0954482031000091068>.
- GIFAS, 2013. *Programme GIFAS Performances Industrielles*, Paris, France. Available at: <http://www.space-aero.org/projet-performances-industrielles/>.
- GIFAS, 2014. *Rapport annuel Industrie Française Aéronautique, Spatiale de Défense et Sécurité*, Paris, France. Available at: http://cfdt.onera.free.fr/source/gifas_ra_2013-14.pdf.
- Graves, S.G. & De Kok, A.G., 2003. *Handbooks in Operations Research and Management Science Volume 11 Supply Chain Management: Design, Coordination and Operation*, Elsevier Science.
- Grover, V. et al., 2013. Information Sharing in Supply Chain Management. In *International Conference on Electrical Engineering and Information*. Elsevier B.V., pp. 217–245. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212017313003484>.
- Gunasekaran, a, Patel, C. & McGaughey, R.E., 2004. A framework for supply chain performance measurement. *International Journal of Production Economics*, 87(3), pp.333–347. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0925527303002561> [Accessed July 9, 2014].
- Gupta, Y.P. & Somers, T.M., 1996. Business Strategy , Manufacturing Flexibility , and Organizational Performance Relationships : a Path Analysis Approach. *Production and Operations Management*, 5(3), pp.204–233.
- Handfield & Nichols, 1999. Introduction to supply chain management. In U. S. River, ed. Prentice-Hall, p. 2.

- Herteman, J., 2013. *Contrat de la filière Aéronautique*, Paris, France. Available at: [http://www.entreprises.gouv.fr/files/files/directions_services/conseil-national-industrie/Contrats_de_filieres/2014-01-CFCSF-aeronautique\(1\).pdf](http://www.entreprises.gouv.fr/files/files/directions_services/conseil-national-industrie/Contrats_de_filieres/2014-01-CFCSF-aeronautique(1).pdf).
- Hoek, R.I. van, 2000. The thesis of leagility revisited. *International Journal of Agile Management Systems*, 2(3), pp.196–201. Available at: <http://dx.doi.org/10.1108/14654650010356103>.
- Huang, G.Q., Lau, J.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*, 41(7), pp.1483–1517.
- IESF, 2014. *Cahier N°18 La construction aéronautique en France : une industrie performante à pérenniser*, Paris, France. Available at: http://www.iesf.fr/upload/pdf/cahier_construction_aeronautique.pdf.
- INSEE, Définition sous-traitance industrielle. Available at: <http://www.insee.fr/fr/methodes/default.asp?page=definitions/sous-traitance-industrielle.htm> [Accessed January 6, 2016].
- Ishikawa, K., 1986. *Guide to control quality* 2nd ed., New York: Asia Productivity Organization.
- Isik, F., 2011. Complexity in Supply Chains : A New Approach to Quantitative Measurement of the Supply-Chain-Complexity. *Supply Chain Management*, pp.417--432. Available at: <http://www.intechopen.com/books/supply-chain-management/complexity-in-supply-chains-a-new-approach-to-quantitative-measurement-of-the-supply-chain-complexity>.
- ISO, 2008. *Guide to the expression of uncertainty in measurement*, CIMP. Available at: http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=50461.
- Jahangirian, M. et al., 2010. Simulation in manufacturing and business: A review. *European Journal of Operational Research*, 203(1), pp.1–13. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2009.06.004>.
- Jean, C., 2013. *Comment réussir l'intégration de systèmes technologiques innovants au sein de systèmes complexes organisationnels ? Application à la télémédecine en France*. Ecole Centrale Paris.
- Jordan, W.C. & Graves, S.C., 1995. Principles on the Benefits of Manufacturing Process Flexibility. *Management Science*, 41(4), pp.577–594. Available at: <http://dx.doi.org/10.1287/mnsc.41.4.577>.
- Kaplan, R.S. & Norton., D.P., 1996. Using the balanced scorecard as a strategic management system. *Harvard Business Review*, p.p75–85.
- Kaplan, S. & Garrick, B.J., 1981. On the quantitative definition of risk. *Risk Analysis*, 1(1), pp.11–27.
- Keskin, B.B. & Üster, H., 2007. A scatter search-based heuristic to locate capacitated transshipment points. *Computers & Operations Research*, 34(10), pp.3112–3125. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305054805003722>.
- Kleindorfer, P.R. & Saad, G.H., 2005. Managing Disruption Risks in Supply Chains. *Production and Operations Management*, 14(1), pp.53–68.
- Kouvelis, P. & Milner, J.M., 2002. Supply chain capacity and outsourcing decisions: the dynamic interplay of demand and supply uncertainty. *IIE Transactions*, 34(8), pp.717–728. Available at: <http://dx.doi.org/10.1023/A:1014924611072>.

- Lambert, D.M. & Cooper, M.C., 2000. Issues in Supply Chain Management. *Industrial Marketing Management*, 29(1), pp.65–83.
- Lasher, W.R., 2003. The Management of Working Capital. *Practical Financial Management*, 3, pp.492–537.
- Lebas, M.J., 1995. Performance measurement and performance management. *International Journal of Production Economics*, 41(1–3), pp.23–35.
- Lee, H.L. & Billington, C., 1993. Material management in decentralized supply chains. *Operations Research*, 41(5), p.835.
- Liu, M., 1992. Présentation de la recherche-action : Définition, déroulement et résultats. *Revue internationale de systémique*, 6, pp.293–311.
- La Londe, B.J. & Masters, J.M., 1994. Emerging Logistics Strategies: Blueprints for the Next Century. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 24(7), pp.35–47.
- Lorino, P., 2001. La performance et ses indicateurs. Eléments de définition. In Hermes, ed. *Indicateurs de Performance*. Paris, France.
- Lyonnet, P., 1991. *Les outils de la qualité totale*, Paris, France.: Technique et Documentation.
- Mangla, S.K., Kumar, P. & Barua, M.K., 2014. Monte Carlo simulation based approach to manage risks in operational networks in green supply chain. *Procedia Engineering*, 97, pp.2186–2194. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2014.12.462>.
- Mentzer, J.T. et al, 2001. Defining Supply Chain Management. *Journal of Business Logistics*, 22(2).
- Miles, M.B. & Huberman, A.M., 2003. *Analyse des données qualitatives* 2e édition., Bruxelles, Belgique: De Boeck Supérieur.
- Minner, S., 2003. Multiple-supplier inventory models in supply chain management: A review. *International Journal of Production Economics*, 81–82, pp.265–279. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925527302002888>.
- Le Moigne, J.-L., 1990. *Systémique et complexité* Dunod, ed., Paris.
- Le Moigne, J.-L.L., 1994. *La théorie du système général : Théorie de la modélisation.*, Paris: Presses Universitaires de France- PUF.
- Le Moigne, J.-L.L., 1995. Modelling complex systems: Wonderful but not incomprehensible. *British Homoeopathic Journal*, 84, pp.164–165.
- Le Moigne, J.L.L., 1999. *La modélisation des systèmes complexes*. Dunod, ed., Paris.
- Le Moigne, R., 2013. *Supply Chain Management* 1st ed. Dunod, ed., Paris, France.
- Nozick, L.K. & Turnquist, M.A., 1998. Integrating inventory impacts into a fixed-charge model for locating distribution centers. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 34(3), pp.173–186. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1366554598000106>.
- Ntabe, E.N., Munson, A.D. & Santa-eulalia, L.A. De, 2014. A Systematic Literature Review of the Supply Chain Operations Reference (SCOR) Model Application with Special Attention to Environmental Issues. *Cirrelt*, 1(January 2014), pp.1–31.
- Owen, C., 2008. Selection of simulation tools for improving supply chain performance. In *OR Society Simulation Workshop*. Warwickshire, p. 11.
- Patay, E., Bocquet, J.-C. & Dudezert, A., 2007. Systemics for the Design of Complex

- Distribution Networks with uncertainties. In *International Conference on Engineering Design (ICED 07)*. Paris, France.
- Perron, S., 2002. *Contributions au soutien logistique intégré des systèmes industriels : application à la ligne d'intégration Laser*. Ecole Centrale Paris. Available at: <http://www.theses.fr/2002ECAP0901>.
- Perrotin, R., Soulet De Brugière, F. & Pasero, J.-J., 2007. *Le manuel des achats: Processus, Management et Audit* 1st ed., Edition d'Organisation.
- Pidd, M., 2004. *Systems Modelling: Theory and Practice* Mike Pidd, ed., Chichester, UK.: Wiley.
- PIPAME, 2009. *Etude de la chaîne de valeur dans l'industrie aéronautique*, Paris, France. Available at: <http://archives.entreprises.gouv.fr/2012/www.industrie.gouv.fr/p3e/etudes/aeronautique/etudes3.html>.
- Prodhon, C., 2006. *Le problème de localisation-routage*. Troyes. Available at: <http://www.theses.fr/2006TROY0010>.
- Quinn, J.B. & Hilmer, F.G., 1994. Strategic outsourcing. *Sloan management review*, 35(4), p.43.
- Ramanathan, U. & Gunasekaran, A., 2014. Supply chain collaboration: Impact of success in long-term partnerships. *International Journal of Production Economics*, 147, pp.252–259. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0925527312002290> [Accessed July 18, 2014].
- Robert, C. & Casella, G., 1999. *Monte Carlo Statistical Method*, New York: Springer-Verlag.
- De Rocquigny, E., 2011. *Risk and uncertainty modelling: an introduction to statistical, physical and computational challenges Part one*, Ecole Centrale Paris.
- Safizadeh, M.H. & Ritzman, L.P., 1997. Linking performance drivers in production planning and inventory control to process choice. *Journal of Operations Management*, 15(4), pp.389–403. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0272696397000144>.
- Schindler, A., 2009. *Vers la multi-performance des organisations : conception et pilotage par les valeurs du centre de recherche intégré MIR Cen du CEA*. Ecole Centrale Paris.
- Sillanpää, I., 2010. *Supply Chain Performance Measurement in the Manufacturing Industry*. University of Oulu.
- Singh, M. & Schmitt, A.J., 2009. Quantifying supply chain disruption risk using Monte Carlo and discrete-event simulation. In *Winter Simulation Conference*. Institute of Electrical and Electronics Engineers, pp. 1237–1248.
- Stadler et al., 2003. ICT and Operations outsourcing in banking. *Wirtschaftsinformatik*, 45(2), pp.131–141.
- Stadtler, H., 2005. Supply chain management and advanced planning—basics, overview and challenges. *European Journal of Operational Research*, 163(3), pp.575–588. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0377221704001183>.
- Stojcetovic, B., Misic, M. & Sarkocevic, Z., 2013. Quality Tools in Project Quality in Project. *7th International Quality Conference May 24th 2013 Center for Quality, Faculty of Engineering, University of Kragujevac Bojan*, pp.153–158.
- Suarez, F.F., Cusumano, M.A. & Fine, C.H., 1995. An empirical study of flexibility in

- manufacturing. *Sloan management review*, 37(1), p.25.
- Swaminathan, J.M. & Lee, H.L., 2003. Design for Postponement. *Handbooks in Operations Research and Management Science*, 11(C), pp.199–226.
- Talbot, D., 2008. EADS, une transition inachevée une lecture par les catégories de la proximité? *Geographie Economie Societe*, 10(2), pp.243–261.
- Tayur, S., Ganeshan, R. & Magazine, M., 1999. *Quantitative Models for Supply Chain Management*. K. A. Publishers, ed.,
- Tempelmeier, H., 2011. *Inventory Management in Supply Networks* 2nd ed., Norderstedt.
- De Treville, S., Shapiro, R.D. & Hameri, A.P., 2004. From supply chain to demand chain: The role of lead time reduction in improving demand chain performance. *Journal of Operations Management*, 21(6), pp.613–627.
- Upton, D.M., 1994. The Management of Manufacturing Flexibility. *California Management Review*, 36(2), pp.72–89. Available at: <http://cmr.ucpress.edu/content/36/2/72.abstract>.
- Wilkinson, L., 2006. Revising the Pareto Chart. *The American Statistician*, 60(March 2015), pp.332–334.
- Yassine, A., 2004. An Introduction to Modeling and Analysing complex product development. Processes using the Deisng Structure Matrix (DSM) Method. *Urbana*, 51(9), pp.1–17.
- Zabawa, J. et al., 2007. Tools of Monte Carlo Simulation in Inventory Management Problems. In *21st European Conference on Modelling and Simulation*. p. 6.
- Zhang, V.L., 1996. Ordering policies for an inventory system with three supply modes. *Naval Research Logistics*, 43(5), pp.691–708.
- Zhou, H. et al., 2014. Supply chain practice and information quality: A supply chain strategy study. *International Journal of Production Economics*, 147(PART C), pp.624–633. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.08.025>.
- Zipkin, P., 2000. *Foundations of inventory management* 1st ed., McGraw-Hill/Irwin.

A. Annexes Chapitre 1 (Contexte)

A.1 Programme d'avions militaires: Rafale

Au sein des programmes militaires développés par DA, le Rafale est un avion qui a été étudié et construit en collaboration avec de nombreuses sociétés françaises (sous-traitants de production).

Parmi ces caractérisés techniques :

- Il est un avion de combat biréacteur omnirôle à faible détectabilité.
- Aussi, il est capable de remplir tous les rôles dévolus à un avion de combat en une seule mission.
- Ce le premier avion à formule aérodynamique du type "delta-canards", conçu pour pouvoir se poser sur un porte-avions, il peut effectuer, simultanément au cours d'un même vol, des actions de supériorité aérienne, de défense, mais aussi de reconnaissance et d'attaque de surface.



Figure 5.15 Exemple d'un avion militaire : Rafale (Dassault Aviation 2015)

A.2 Programme d'avions d'affaires: Falcon

Au sein des programmes d'avions d'affaires, les Falcons sont appréciés pour leurs performances, leur confort et leurs faibles niveaux de consommation carburant. Aujourd'hui, plus de 2000 Falcon sont opérés dans le monde, au bénéfice d'entreprises, de décideurs économiques et de gouvernements. La diversité de modèles Falcon varie en fonction des spécifications techniques de chaque modèle (voir figure 11).



Figure 5.16 Exemple de la gamme de produits : Falcon (Dassault Aviation 2015)

Contribution à l'amélioration de la performance globale Supply Chain : cas de la sous-traitance de la production dans l'aéronautique

La chaîne d'approvisionnement des entreprises industrielles (Supply Chain (SC) en anglais) devient de plus en plus complexe de par le nombre d'interactions et interdépendances entre les différentes entités, acteurs, processus et ressources qui la composent. Ainsi, les entreprises s'intéressent de plus en plus à l'étude de leurs systèmes de performances pour aider à piloter et améliorer leurs processus. Les diverses approches existantes traitent essentiellement de la mesure et de l'évaluation de la performance des processus internes de l'entreprise. Notre approche, par la systémique, nous permet de prendre en compte toutes les parties prenantes intervenantes dans les chaînes de valeurs globales, allant du besoin à la satisfaction du besoin. Dans le cas spécifique du secteur aéronautique (européen), le défi est d'autant plus important qu'il a été identifié que 70 à 80% de la valeur ajoutée (VA) est produite chez les fournisseurs de rang 1 et 2. C'est la raison pour laquelle nous nous intéressons dans cette thèse au périmètre de la sous-traitance de la production.

Nos travaux de recherche sont organisés en trois parties :

1) **Une modélisation systémique au sein de la SC** afin de considérer son système de performance dans sa globalité partant des objectifs stratégiques (en termes d'indicateurs globaux) jusqu'à la re-conception des processus créateurs de valeurs internes. Cette modélisation permet d'identifier un sous-système

à étudier, les acteurs concernés et les attentes traduites par des indicateurs de performances qui sont mesurés à travers les processus internes. Nous identifions des indicateurs à prioriser et à améliorer en consensus avec les experts industriels.

2) **Un traitement de l'indicateur priorisé : « la Livraison à temps des fournisseurs (Supplier On Time Delivery) »**. Dans un premier temps, nous analysons la mesure de cet indicateur, ses variables et ses paramètres qui l'impactent et nous approfondissons l'étude en se concentrant sur les dysfonctionnements (destructeurs de valeurs) qui empêchent d'atteindre les objectifs stratégiques fixés. Après cette phase d'analyse, nous proposons une simulation des impacts de dysfonctionnements sur l'indicateur et menons ensuite des analyses de sensibilité sur les variables identifiées afin de quantifier ces impacts et leur évolution.

3) **Une méthodologie d'établissement de plan d'actions d'amélioration** à appliquer dans le périmètre étudié. Nous proposons une analyse qualitative sur l'implémentation des leviers et leur efficacité afin d'améliorer la performance.

Des conclusions et limites de notre approche sont discutées et nous donnons des perspectives de recherche sur la re-conception et l'amélioration des performances de systèmes au sein de la chaîne d'approvisionnement.

Mots clés : approche systémique, performance supply chain, amélioration de processus, simulation et modélisation sous incertitudes

Contribution to the improvement of the overall Performance of the Supply Chain: case study of the production outsourcing in the aeronautics

The Supply Chain of industrial companies is becoming more complex due to the high number of interactions and interdependencies between different entities, actors, processes and resources belonging to the supply process. Thus, companies are increasingly interested in the study of their performance systems to help managing and improving their processes. The various existing approaches deal mainly with the measurement and the evaluation of the performance of internal business processes. Our work, based on the systemic approach, allows us to take into account all stakeholders involved in the global value chain, from the need to the fulfillment of it. In the specific case of the aeronautics (European), the challenge is even more important in as much as it was identified that 70 to 80% of value added (VA) occurred with the first and second-tier suppliers. This is why we focus our work within the scope of the outsourcing of aircraft production.

Our research is organized in three parts:

1) **A systemic modeling within the SC** is realized to consider the performance of the overall system, starting from the strategic objectives (in terms of global indicators) to the re-design of the internal processes creating values. This model identifies a

subsystem to be studied, stakeholders involved, and their expectations reflected by the performance indicators measured through internal processes. We identify indicators to be prioritized and improved by consensus with industrial experts.

2) **A treatment of the prioritized indicator "Supplier On Time Delivery"** is proposed: first, we analyze the measurement of this indicator, its variables and parameters that impact it, and we go into the study in depth focusing on the dysfunctions (destroying values) that prevent achieving the strategic goals. After this phase of analysis, we propose a simulation of the dysfunctions' impacts on the indicator and we then conduct sensitivity analysis of the identified variables of interest in order to quantify these impacts and their evolution.

3) **A methodology leading to an establishment of an improvement actions plan** is presented in the perimeter studied. We provide a qualitative analysis on the implementation and effectiveness of the levers improving the performances.

Conclusions and limitations of our approach are discussed and we provide research perspectives on the re-design and the improvement of the system's performance within the supply chain.

Keywords: systemic approach, supply chain performance, process improvement, simulation and modeling under uncertainties



