HAL
open science

Mise en oeuvre des architectures orientées services pour les systèmes d'information industriels

Ahlem Zayati

To cite this version:

Ahlem Zayati. Mise en oeuvre des architectures orientées services pour les systèmes d'information industriels. Gestion et management. INSA de Lyon; Université de Tunis. Faculté des sciences de Tunis, 2012. Français. NNT : 2012ISAL0054 . tel-00828310

HAL Id: tel-00828310

https://theses.hal.science/tel-00828310v1

Submitted on 30 May 2013

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.

N° d'ordre « 2012ISAL0054 » Année 2012

Institut National des Sciences Appliquées de Lyon

« MISE EN ŒUVRE DES ARCHITECTURES ORIENTEES SERVICES POUR LES SYSTEMES D'INFORMATION INDUSTRIELS »

THESE DE DOCTORAT

(Spécialité Informatique)

Par AHLEM ZAYATI

Soutenue publiquement le 09/10/2012 devant la commission d'examen composée de :

RAPPORTEURS :	MADAME CORINNE CAUVET, PROFESSEUR A L'UNIVERSITE AIX MARSEILLE
	MONSIEUR BERNARD GRABOT, PROFESSEUR A L'ECOLE NATIONALE D'INGENIEURS DE TARBES
EXAMINATEURS :	MONSIEUR XAVIER BOUCHER, PROFESSEUR A L'ÉCOLE NATIONALE SUPERIEURE DES MINES DE SAINT ETIENNE
	MADAME SELMIN NURCAN, MAITRE DE CONFERENCES A L'UNIVERSITE PARIS 1 – SORBONNE
DIRECTEURS DE THESE :	MADAME FREDERIQUE BIENNIER, PROFESSEUR A L'INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUEES DE LYON
	MONSIEUR YOUAKIM BADR, MAITRE DE CONFERENCES A L'INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUEES DE LYON)

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

REMERCIEMENTS

Comme le veut la tradition, je vais tenter de satisfaire au difficile exercice la page des remerciements. Non qu'exprimer ma gratitude envers les personnes en qui j'ai trouvé un soutien soit le plus confus, bien au contraire. La difficulté tient plutôt dans le fait de n'oublier personne. C'est pourquoi, je remercie par avance ceux dont le nom n'apparaît pas dans cette page et qui m'ont soutenue de près ou de loin dans l'élaboration de mes travaux.

Je tiens tout d'abord à remercier mes directeurs de thèse Madame Frédérique Biennier et Monsieur Youakim Badr. Je leur exprime toute ma reconnaissance pour leurs encadrements avisés et leurs soutiens continus.

J'exprime ma grande gratitude et mon profond respect aux membres du jury. Je les remercie d'avoir accepté d'évaluer mon modeste travail.

Je remercie profondément Madame Corinne CAUVET, Professeur à l'Université Aix Marseille et Monsieur Bernard GRABOT, Professeur à l'Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tarbes d'avoir accepté de rapporter cette thèse.

Un grand merci à Monsieur Xavier BOUCHER, Professeur à l'École Nationale Supérieure des Mines de Saint Etienne et à Madame Selmin NURCAN, Maître de Conférences à l'Université Paris 1 – Sorbonne d'avoir accepté de faire parti des examinateurs de ma thèse.

J'exprime une grande reconnaissance envers Monsieur Lee Schlenker, Professeur à l'Ecole de Management de Lyon pour son soutien et ses précieux encouragements.

Je remercie tous les membres du laboratoire LIESP et du LIRIS en particulier Nadira Matar, Janine Rezza, Sodki Chaari, Rym Ben Bachouch, Omar Sakka, Khaled Bahloul... Je suis très reconnaissante envers tous mes amis, en particulier Azza Harbaoui, Grégory Costa, Lilia Sidhom, Rima Ouali, Salma Sassi, Sana Sellami, et Shema Essadi pour leurs soutiens distingués. J'exprime toute ma gratitude à Leila Zayati, Leila Memmi, Sofiane Zairi et Wassila Dimassi.

Pour finir, je dédie du plus profond de mon cœur ce travail à mes chers parents Mohamed et Nadia, à mes frères Zied, Tarek et Skander, à mon petit neveu « Allouchi » et à ma belle sœur Manel qui ont toujours été présents pour écarter les doutes, soigner les blessures, m'apporter assurance et bonheur. Je leur suis très reconnaissante pour leurs concessions et leurs encouragements. Je les remercie d'avoir tout simplement cru en moi.

« La reconnaissance est la mémoire du cœur »

Hans Christian Andersen

Ahlem ZAYATI

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

RESUME

Pour faire face aux contraintes économiques (demande de plus en plus importante pour de la personnalisation de masse, globalisation et réduction des coûts…), le développement de stratégies de production « Juste À Temps », ou « Lean Manufacturing » impose la réorganisation de l'entreprise sur les activités génératrices de valeur en suivant une logique de chaîne de valeur pour éviter tout gaspillage. Cette stratégie conduit de fait à un recentrage métier et une extension de la chaîne de valeur. L'entreprise est donc amenée à développer des stratégies de collaboration (Bare & Cox, 2008 ; Davis, 1987) et doit disposer d'un SI Lean (réponse au plus juste), agile pour réagir aux fluctuations et aléas, ouvert pour assurer un partenariat avec ses fournisseurs, ses clients et ses partenaires et, enfin, interopérable pour faciliter la communication entre les différents systèmes et concilier ces différentes facettes métier.

Or, le SI de l'entreprise est constitué d'une multiplicité de logiciels (l'ERP (Enterprise Resource Planning), le MES (Manufacturing Execution System), le PLM (Product Life-cycle Management), le SCM (Supply Chain Management)…). Chaque système vise à répondre à un objectif donné pour une facette métier, et est développé selon des spécifications métier propres échappant le plus souvent à toute standardisation. Ceci engendre une redondance, une hétérogénéité et une augmentation du volume d'information, d'où des risques d'incohérence, de rigidité du SI et notamment une grande difficulté de communication dans le cadre de collaboration interentreprises.

Pour répondre à ces aléas, il importe de définir un SI agile et interopérable et de réorganiser les processus pour supporter la chaîne de valeur de l'entreprise. C'est dans cet objectif que nous proposons de développer un Lean ESB (Enterprise Service Bus), socle d'une Architecture Orientée Services, doté d'une couche sémantique métier. Nous avons défini quatre modules du Lean ESB :

- Le module de médiation définit les échanges d'information entre les différents métiers et entre le métier et la technologie pour assurer le fonctionnement des autres modules.
- Le module de chorégraphie dynamique permet de composer les services industriels pour définir les processus selon les besoins de production spécifiés par le client.
- Le module de routage intelligent organise les ressources de l'atelier pour définir des processus en flux tirés.
- Le module de monitoring & gouvernance permet de contrôler la performance de la production et la qualité des produits.

Mot clefs : Lean Manufacturing, Architectures Orientées Services (SOA), Lean ESB, Interopérabilité, Ontologie Métier, Collaboration Interentreprises.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

ABSTRACT

To meet the economic constraints (growth of mass customization demands, globalization and cost reducing), the development of new strategies forms as a “Just In Time” production strategy or “Lean Manufacturing” needs to reorganize the enterprise taking into account the activities which generates value (following the value-chain logic) in order to avoid wastefulness. This strategy leads to a business refocusing and a value-chain extension. The enterprise has to develop collaboration strategies (Bare & Cox, 2008 ; Davis, 1987) and has to have a Lean (just in time response) Information Systems (IS), agile IS to react fluctuations, open IS to support a partnership with suppliers, customers and partners and interoperable IS to make easier the communication between systems and business views.

However, the enterprise IS contains multiple systems: ERP (Enterprise Resource Planning), MES (Manufacturing Execution System), PLM (Product Life-cycle Management), SCM (Supply Chain Management)…Each system is designed to meet a particular business view, and is developed according to specific business requirementswithout any standardization which cause redundancy, heterogeneity and increase the volume of information including an inconsistency, a rigidity of the IS and a difficulty of inter-enterprise collaboration.

To face theses disadvantages we have to define an agile and interoperable IS and to reorganize processes to support the enterprise value-chain. Therefore, we propose to develop a Lean ESB (Enterprise Service Bus) which is a Service Oriented Architecture middleware, improved by a business semantic layer. We defined four modules of Lean ESB:

- The mediation module defines information exchange between a business layers and IS and insures other modules operating.
- The dynamic choreography module enables industrial services composition to define processes in accordance with customer demands.
- The intelligent routing module organizes workshop resources in order to reorganize processes in a pull flow strategy.
- The monitoring & governance module enables the control of production performance and products quality.

Keywords: Lean Manufacturing, Service Oriented Architecture (SOA), Lean ESB, Interoperability, Business Ontology, Inter-enterprises Collaboration.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

TABLE DES MATIERES

Chapitre 1 Introduction Générale 1

1.1 Contexte 3

1.2 Problématique 4

1.3 Organisation du Manuscrit 6

Chapitre 2 Stratégie « Lean Manufacturing » 9

2.1 Introduction 11

2.2 Stratégie Lean 11

2.3 Pilotage des Flux "Juste à Temps" 13

2.4 Gestion des Améliorations 14

2.4.1 Méthode des 5S 14

2.4.2 Le TPM (Total Productive Maintenance) 14

2.4.3 Le SMED – Single Minute Exchange of Die 15

2.4.4 Le Kaizen 15

2.5 Un Plan d'Action Lean : « Toyota Production System » 15

2.6 Etude des Exigences d'une Stratégie Lean sur le SI 18

2.6.1 Impact du Lean sur les Pratiques de Collaboration 20

2.6.2 Impact du Lean sur le SI 21

2.6.3 Impact du Lean sur le Système d'Information Industriel 21

2.7 Conclusion 22

Chapitre 3 Modélisation de l'Entreprise 24

3.1 Introduction 25

3.2 Modélisation d'Entreprise lors de la Mise en Œuvre d'une Démarche Lean 26

3.3 Méthodologies de Modélisation d'Entreprise 27

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

3.3.1 GRAI (Graphe de Résultats et Activités Inter-reliées) et GIM (GRAI – IDEF0 – Merise) 27

3.3.2 PERA (Purdue Enterprise Reference Architecture) 29

3.3.3 CIMOSA (CIM Open System Architecture) 30

3.3.4 Cadre Fédérateur GERAM (Generalized Enterprise Reference Architecture and Methodology) 33

3.3.5 Conclusion sur les Méthodes et Méthodologies de Modélisation d'Entreprise .. 36

3.4 Méthodes de Modélisation Informatiques 36

3.4.1 SADT (Structured Analysis and Design Technique) et SART (Structured Analysis-Real Time) 37

3.4.2 IDEF (Integration Definition) 38

3.4.3 UML& UEML (Unified Enterprise Modeling Language) 38

3.4.4 Conclusion sur les Méthodes Informatiques de Modélisation 40

3.5 Méthodologie de Modélisation Orientée Processus : ARIS 40

3.5.1 Approche Processus 42

3.5.2 Définitions 42

3.5.3 Gestion des Processus Métier 43

3.5.4 Modélisation des Processus et BPMN 44

3.5.5 Exécution des Processus 45

3.6 Bilan des méthodes de modélisation 46

3.7 Conclusion 48

Chapitre 4 Système d'Information d'Entreprise et Intégration du Lean 51

4.1 Introduction 53

4.2 Existant du Système d'Information de l'Entreprise 54

4.2.1 La Vision « Processus » 55

4.2.2 Les Systèmes Support 56

4.2.2.1 Les Systèmes de Gestion de la Chaîne Logistique 56

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

4.2.2.2 Les Systèmes de Gestion de la Relation Client 56
4.2.2.3 La Gestion du Cycle de Vie des Produits 57
4.2.2.4 Le Progiciel de Gestion Intégré 57
4.2.3 Systèmes Supportant la Production 58
4.2.4 Problèmes Liés à l'Existant du SI de l'Entreprise 60
4.3 Interopérabilité des Systèmes 61
4.3.1 L'Interopérabilité Technologique : les Architectures Orientées Services 63
4.3.1.1 Les Architecture Orientées Services 64
4.3.1.2 Les Bus de Services 65
4.3.2 L'Interopérabilité Sémantique : les Ontologies d'Entreprise 67
4.3.2.1 EO « Enterprise Ontology » 67
4.3.2.2 TOVE 68
4.3.2.3 PSL « Process Specification Language » 69
4.3.2.4 Le Standard ISA S-95 69
4.3.2.5 Synthèse Comparative des Différents Ontologies d'Entreprise 71
4.4 Conclusion 73
Chapitre 5 Architecture d'Intégration « Métier » 75
5.1 Introduction 77
5.2 Architecture orientée Services industriels 78
5.2.1 Taxonomie des Services Industriels 82
5.2.1.1 Vision Matérielle 83
5.2.1.2 Vision Immatérielle 83
5.2.2 Modèle du Service Industriel 85
5.2.3 Description du Registre des Services Industriels 85
5.3 Composition « Métier » 87
5.3.1 Flexibilité Métier 92
5.3.2 Niveaux d'Interopérabilité du Service Industriel 93
5.4 Champs d'application des Services Industriels 95

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

5.4.1 Système de Production de Biens – Système Industriel 95
5.4.1.1 Système de Fabrication 96
5.4.1.2 Système de Décision 97
5.4.1.3 Apport du Service Industriel 98
5.4.2 Système de Production de Services – Système Hospitalier 99
5.4.2.1 Interfaces d'Échange entre le Métier et la Production 102
5.4.2.2 Apport du Service Industriel 103
5.5 Conclusion 106
Chapitre 6 Bus de Services d'Entreprise Lean « Lean ESB » 107
6.1 Introduction 109
6.2 Description du Bus de Services Lean 109
6.2.1 Défis à Relever 111
6.2.2 Architecture 113
6.2.3 Etude de Cas 119
6.3 Module de Médiation Sémantique Inter-Métier 122
6.3.1 Composants du Module de Médiation 125
6.3.2 Description des Référentiels Ontologiques 126
6.3.2.1 Ontologie Pivot ISA S-95 126
6.3.2.2 Ontologie d'Entreprise « EO » 132
6.3.3 Gestion des Annotations Sémantiques 134
6.3.4 Construction des Méta-Modèles 140
6.3.4.1 Interfaçage avec les Système PLM et Définition du Produit 140
6.3.4.2 Définition de la Production 141
6.3.4.3 Capacité de la Production 142
6.4 Routage Intelligent 143
6.5 Monitoring & Gouvernance 147
6.6 Composition Métier et Chorégraphie Dynamique 149
6.7 Conclusion 153

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

Chapitre 7 Conclusion Générale et Perspectives 156

7.1 Rappel du Contexte et Démarche 157

7.2 Perspectives et Travaux Futurs 158

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1. Organisation des Chapitres du Manuscrit 8

Figure 2.1. Situation Actuelle, Exemple (Womack & Jones, 2003, pp 385) 16

Figure 2.2. Fiche Résultats de la Situation Actuelle (Womack, et al., 2003, pp 386) 16

Figure 2.3. Carte de la Chaîne de Valeur dans une Situation Future (Womack, et al., 2003, pp 386) 17

Figure 2.4. Exigences du Lean 19

Figure 2.5. Positionnement du Lean par rapport au SI de l'Entreprise 20

Figure 2.6. Apport du SI 22

Figure 3.1. Organisation des Vues de Modélisation 26

Figure 3.2. Grille GRAI 28

Figure 3.3. Réseau GRAI 28

Figure 3.4. Cadre de Modélisation CIMOSA (Vernadat, 1996) 31

Figure 3.5. Représentation des Domaines et Processus Maîtres 32

Figure 3.6. Infrastructure d'Intégration CIMOSA 33

Figure 3.7. Cycle de Vie GERAM pour une Entreprise 34

Figure 3.8. Éléments Méthodologiques de GERAM (IFIP - IFAC Task Force, 1999) 35

Figure 3.9. Bloc Fonctionnel selon SADT 37

Figure 3.10. Méta-Modèle UEML (Chaari, 2008) 39

Figure 3.11. Architecture ARIS (Scheer, 1992). 41

Figure 3.12. Processus Métier 42

Figure 3.13. Aperçu de la Modélisation avec BPMN 44

Figure 3.14. Appel des Services Web avec BPEL 45

Figure 4.1. Organisation du Système d'Information de l'Entreprise 55

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

Figure 4.2. Architecture Globale des Processus (Laudon & Laudon, 2006) 55

Figure 4.3. Système de Gestion de la Chaîne Logistique (Laudon & Laudon, 2006) 56

Figure 4.4. Gestion du Cycle de Vie des Produits (Laudon & Laudon, 2006) 57

Figure 4.5. Système Intégré ERP (Laudon & Laudon, 2006, p54) 57

Figure 4.6. Systèmes de Pilotage et de Supervision de la Production 58

Figure 4.7. Vue d'ensemble du MES (Siemens Industrial Solutions & Services, 2005) 59

Figure 4.8. Les Quatre Niveaux d'Interopérabilité (Chen, et al., 2006) 63

Figure 4.9. Les composants d'une approche service (Nawrocki, 2004 pp 196) 64

Figure 4.10. Gestion des référentiels d'entreprise (Rivard, Brendel, Buche, Delayre, Mocaër, & Nevers, 2005) 64

Figure 4.11. Bus de Services d'Entreprise (Manouvrier & Ménard, 2007) 65

Figure 4.12. Domaines de la norme ISA S95 et nature des échanges spécifiés entre ERP et MES (ANSI/ISA, 2007) 70

Figure 4.13. ISA S-95 selon la Hiérarchie Fonctionnelle de l'Entreprise (ANSI/ISA, 2007) 70

Figure 4.14. Méta-modèle des Activités de la norme ISA S-95-Part 3 (Vieille (b), 2000) 71

Figure 4.15. Organisation des Flux Physiques de l'Atelier en Flux Majeur 73

Figure 5.1. Architecture Orientée Services Industriels 80

Figure 5.2. Exemple de Services Industriels 81

Figure 5.3. Taxonomie du Service Industrielle - Vision Matérielle 83

Figure 5.4. Taxonomie du Service Industrielle - Vision Immatérielle 84

Figure 5.5. Modèle du Service Industriel 85

Figure 5.6. Annuaire UDDI des Services Industriels 86

Figure 5.7. Processus de Composition Métier 90

Figure 5.8. Composition Métier pour une Commande de 100 Jouets 91

Figure 5.9. Champs de Flexibilité au Niveau du Services Industriels 93

Figure 5.10. Modélisation des Propriétés Fonctionnelles du Service Industriel 94

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

Figure 5.11. Enjeux Industriels sur les Systèmes de Production de Biens 95

Figure 5.12. Système Logistique..... 95

Figure 5.13. Cadre Conceptuel d'un Système de Production de Bien 96

Figure 5.14. Méta Modèle du Système de Fabrication 97

Figure 5.15. Système de Pilotage 97

Figure 5.16. Apport du Service Industriel dans la Définition du Système d'Information Industriel 99

Figure 5.17. Environnement des Systèmes Hospitaliers selon (Kohler, 1992)..... 100

Figure 5.18. Description du Système d'Information Hospitalier (Institut Curis)..... 101

Figure 5.19. Interfaces d'échanges entre les différents Niveaux Hiérarchiques d'un Hôpital..... 103

Figure 5.20. Apport du Service Industriel dans la Définition du Système d'Information Hospitalier 104

Figure 5.21. Exemple de Services Industriels dans le Domaine Hospitalier..... 105

Figure 6.1. Bus de Services Lean – Lean ESB 110

Figure 6.2. SemEUsE – Bus de Service Sémantique 115

Figure 6.3. Architecture du Mashup (Mikkonen & Salminen, 2011) 116

Figure 6.4. Notre Architecture du Mashup 117

Figure 6.5. Description des Modules du Lean ESB 118

Figure 6.6. Interfaces d'Échanges entre les Modules du Lean ESB et les Propriétés du Service Industriel 118

Figure 6.7. Structure de la Plateforme AIP-PRIMECA-RAO 120

Figure 6.8. Organisation des Flux de production vue d'une Palette..... 122

Figure 6.9. Création du Mashup des Données par le Module de Médiation Sémantique Inter-Métier..... 123

Figure 6.10. Description XML d'une Commande Client Extraite de la BD d'OpenERP..... 123

Figure 6.11. Description XML Enrichie grâce à l'Ontologie Pivot..... 124

Figure 6.12. Algorithme de Médiation Sémantique entre Applications Métier 125

Figure 6.13. ISA et les Cycles de Production 125

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

Figure 6.14. Description du Module de Médiation 126

Figure 6.15. Modèle ISA S-95 127

Figure 6.16. Visualisation de quelques Concepts de l'Ontologie ISA S-95 Générée par le Plugin OWLVIZ de « Protégé » 128

Figure 6.17. Description XML de la Définition de la Production 129

Figure 6.18. Définition du Travail 129

Figure 6.19. Extrait XML de la Définition du Travail 130

Figure 6.20. Description des Besoins 130

Figure 6.21. Définition des Ressources Basée sur l'Ontologie ISA S-95 131

Figure 6.22. Visualisation des Concepts de l'Ontologie EO 132

Figure 6.23. Description XML de Promotions pour les Distributeurs de Jouets 134

Figure 6.24. Ontologie de Service et Ontologie du Domaine (Chabeb & Tata, 2008, pp 439) 135

Figure 6.25. Ontologie de Service et Ontologies Métier pour la Gestion d'une Commande Client 136

Figure 6.26. Exemple d'Annotation Sémantique 136

Figure 6.27. Flux des Données Gérés par le Module de Médiation Sémantique 137

Figure 6.28. Processus de Médiation Sémantique Inter-Métier 138

Figure 6.29. Service de Médiation Sémantique entre les ERPs des Partenaires 139

Figure 6.30. Service de Médiation Sémantique entre ERPs et MES 140

Figure 6.31. Cycles de Vie d'un Produit 141

Figure 6.32. Méta Modèle Produit 141

Figure 6.33. Méta Modèle Définition de la Production 142

Figure 6.34. Méta Modèle de la Capacité de la Production 142

Figure 6.35. Méta Modèle de la Performance de la Production 143

Figure 6.36. Module de Routage Intelligent 144

Figure 6.37. Création du Mashup des Données par le Module de Routage Intelligent 145

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

Figure 6.38. Flux des Données pour le Calcul du Programme de Production 146

Figure 6.39. Fonctionnement du Module de Routage Intelligent 146

Figure 6.40. Création du Mashup des Données et des Services par le Module de Monitoring et Gouvernance 147

Figure 6.41. Diagramme de Composants du Monitoring & Gouvernance 148

Figure 6.42. Fonctionnement du Module Monitoring et Gouvernance 149

Figure 6.43. Création du Mashup des Services par le Module de Chorégraphie Dynamique 151

Figure 6.44. Algorithme de Chorégraphie Dynamique & Composition Métier 151

Figure 6.45. Méta Modèle de la Chorégraphie Dynamique & Composition Métier 152

Figure 6.46. Description et Pilotage des Flux 153

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 3.1. Standards BPM (Rivard, Brendel, Buche, Delayre, Mocaër, & Nevers, 2005) 44

Tableau 4.1. Tableau Comparatif des Ontologies d'Entreprise 72

Tableau 6.1. Modules du Lean ESB 114

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

Chapitre 1 Introduction Générale

1.1 Contexte 3

1.2 Problématique 4

1.3 Organisation du Manuscrit 6

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

1.1 Contexte

Pour faire face aux contraintes économiques (demande de plus en plus importante pour de la personnalisation de masse, globalisation et réduction des coûts…), le développement de stratégies de production impose le passage à une stratégie de Lean Manufacturing. Le déploiement de stratégie Lean conduit à réorganiser l'entreprise sur les activités génératrices de valeur en suivant une logique de chaîne de valeur pour éviter tout gaspillage. Cette stratégie conduit donc de fait à un recentrage métier. Or, la demande pour développer une logique produit/ service impose une extension de la chaîne de valeur pour prendre en compte non seulement la fabrication du produit mais l'ensemble de son cycle de vie (livraison, SAV…). L'entreprise est donc amenée à développer des stratégies de collaboration (Bare & Cox, 2008 ; Davis, 1987). En effet, se concentrer sur son cœur de métier et profiter de l'expérience des autres permet à l'entreprise d'une part de baisser les coûts et les délais de développement et d'autre part de maîtriser la qualité des produits.

Pour réussir la mise en place d'une stratégie Lean, il faut savoir gérer les processus et les ressources au plus juste : toute activité peut se décomposer en processus et tâches qui créent de la valeur et un ou plusieurs processus support. L'objectif est de proposer aux clients une offre globale et compétitive sans alourdir la structure de l'entreprise (Womack & Jones, 2003). L'entreprise Lean identifie les tâches créatrices de valeur et favorise l'écoulement des flux en éliminant les tâches inutiles. Elle doit disposer d'une vision globale sur tous les processus de l'entreprise pour trouver aussitôt le moyen de créer de la valeur (la valeur étant définie comme valeur perçue par le client).

La stratégie de production Lean se base sur la définition de la chaîne de la valeur pour une organisation efficace des processus et des ressources. La chaine de la valeur définit un schéma de production qui correspond aux besoins clients et qui regroupe des activités principales pour la réalisation d'un produit (logistique, fabrication, commercialisation…) et des activités de type support (achat, approvisionnement, développement technologique…).

Le développement d'une logique d'écoulement des flux selon une chaîne de valeur répondant à une demande client conduit à développer des stratégies en flux tiré. L'entreprise Lean doit maîtriser la gestion de la qualité (l'amélioration permanente doit permettre d'éradiquer les défauts pour éviter non seulement le gaspillage lié à la pièce perdue mais aussi pour éviter d'interrompre l'écoulement du flux en raison de pièces défectueuses), ne doit pas avoir de stock (ou tout au moins les limiter au maximum) et lancer ses demandes d'approvisionnements en juste à temps. Poussé à l'extrême, ceci conduit à ne lancer les approvisionnements que lorsque le client enregistre sa commande. Or fabriquer des produits customisés dans des délais très courts suppose un outil de production performant et de pouvoir faire appel à des collaborations interentreprises afin d'externaliser les activités secondaires à des tiers. Pour être efficace, cette stratégie conduit à inciter les fournisseurs à adopter les mêmes méthodes de production (pour éviter les stocks intermédiaires coûteux) et à pouvoir mettre en place des processus à la demande

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

pour répondre aux demandes effectives des clients. Ce dernier point suppose que l'entreprise puisse disposer d'une vision globale sur son organisation et ses processus.

L'élément clé permettant d'offrir à l'entreprise une vision globale sur ses processus, ses fonctions, ses ressources et l'état d'avancement de sa production est son Système d'Information (SI). Celui-ci doit offrir une vision transversale des activités de l'entreprise, et en particulier son système de production. Le SI doit aussi être agile pour réagir aux fluctuations et aléas et permettre de créer rapidement de nouveaux processus, ouvert pour faciliter les collaborations avec les fournisseurs, et clients et interopérable pour faciliter la communication entre les différents systèmes métier.

Or, le SI de l'entreprise est actuellement constitué par une multiplicité de progiciels et systèmes qui n'ont pas été conçus pour travailler ensemble (l'ERP (Enterprise Resource Planning) pour les tâches de gestion, le MES (Manufacturing Execution System) pour la supervision d'atelier, le PLM (Product Life-cycle Management) pour les activités de conception, le SCM (Supply Chain Management) pour la gestion des approvisionnements…). Chacun de ces systèmes a été conçu pour répondre à un objectif précis pour un domaine métier. En outre, ces systèmes ont été développés selon des spécifications métier propres échappant le plus souvent à toute standardisation.

Ce cloisonnement entre systèmes composant le SI global engendre redondance et hétérogénéité des informations conduisant à des risques d'incohérence et à des difficultés de communication aussi bien à l'intérieur de l'entreprise qu'avec l'extérieur. En outre, le recours à de nombreux composants progiciels rend le SI global complexe et très rigide puisque chaque sous-système qui le compose est réalisé de manière autonome.

Pour limiter la complexité du SI et répondre aux besoins d'agilité et d'ouverture du SI, on peut mettre en place des solutions d'urbanisation du SI (Caseau, 2006) et recourir à des implémentations en utilisant des architectures à base de services. En effet, l'urbanisation du SI conduit à une fragmentation métier verticale du SI de l'entreprise, définissant des « silos » métier indépendants ce qui permet de maîtriser, sinon réduire, la complexité du SI. De plus, pour permettre de définir plus facilement des interfaces « standard » entre les briques métier et doter le SI d'un minimum d'agilité, les architectures orientées services (SOA) permettent de séparer spécification des interfaces des traitements métier, d'une part, et proposent des approches de composition permettant de construire des processus par assemblage de services d'autre part. Reposant sur un ensemble de standards de fait, la mise en œuvre d'un SOA permet de répondre, au moins au niveau technologique, au problème d'interopérabilité des composants du SI.

1.2 Problématique

Le SI actuel s'adapte mal à une stratégie de production Lean car il est constitué d'une multiplicité de progiciels entrainant rigidité, complexité voire incohérence. La vision verticale des activités métier de l'entreprise qu'il apporte ne correspond pas à la vision transversale (allant du client au fournisseur en passant par le système de production) induite par l'organisation selon la chaîne de valeur Lean. En outre, le recours à de très nombreux progiciels spécialisés conduit à structurer l'organisation métier de l'entreprise en fonction des contraintes apportées par les outils

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

informatique (standardisation préalable des processus (qui deviennent donc non reconfigurables à la demande) pour les adapter au fonctionnement prévu par le logiciel alors qu'il faudrait pouvoir les organiser et les configurer selon la chaîne de valeur propre à l'entreprise, intégration de tâches non créatrices de valeur,…) et à développer de coûteux traitements de médiation (activités non créatrices de valeur) pour permettre un minimum de communication entre briques métier différentes.

Quels sont les impacts d'une organisation Lean sur le SI globale de l'entreprise, voire comment peut-on rendre le SI lui-même Lean ?

Supporter efficacement la mise en place d'une stratégie Lean, suppose de coupler étroitement les flux de production et les flux d'information associés pour :

- supporter un pilotage efficace selon la chaîne de la valeur
- pour intégrer la valorisation métier dans le SI de manière à ne plus le considérer comme un système support déconnecté de la chaîne de la valeur.

La prise en compte de la dimension industrielle impose une organisation transversale de la gestion de la relation client à la gestion des approvisionnements en passant par la supervision de la production ce qui peut poser des problèmes d'interopérabilité entre les différentes briques logicielles et des problèmes de cohérence.

Pour maîtriser l'hétérogénéité des données et des systèmes et aligner le SI sur le métier, il faut résoudre les problèmes d'interopérabilité à différents niveaux (Daclin, et al., 2008) :

- au niveau organisationnel en adoptant une vision « transversale » de l'organisation et en intégrant les logiques de gestion dans l'organisation des processus
- au niveau conceptuel en définissant un modèle d'information pivot permettant aux différents métiers de communiquer et partager des connaissances. Les ontologies d'entreprise définissent l'organisation des connaissances autour des activités de l'entreprise, des processus, des stratégies... (Zouggar, Vallespir, & Chen, 2006). Toutefois ces ontologies sont définies par secteur métier alors que la vision transverse qui doit être supportée par le SI doit intégrer l'ensemble des domaines métiers de l'entreprise
- au niveau technologique entre briques du SI : les Architectures Orientées Services (SOA) couvrent les modes de conception et d'organisation opérationnelle d'un SI pensé pour délivrer des services. L'avantage de cette solution repose sur l'interconnexion des composants technologiques du SI en gérant la transformation syntaxique des informations échangées.

Si les Architectures Orientées Services apportent une solution en terme d'interopérabilité et en terme d'organisation agile de processus (du fait des possibilités de composition / orchestration et chorégraphie de chaînes de services), elles restent limitées au niveau technologique. Or, pour aligner le SI sur l'organisation métier et supporter la vision « transverse » de la chaîne de la valeur, il faut assurer une compréhension sémantique entre métiers différents et permettre de composer dynamiquement les processus métier.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

Comment aligner le SI sur le métier de l'entreprise et garantir l'interopérabilité entre systèmes métier différents ?

Pour lever ce verrou, nous proposons d'intégrer le SI dans l'organisation de la chaîne de la valeur en **introduisant une dimension métier** dans les architectures orientées services pour **construire des services industriels.** Cette approche, qui tire parti de l'agilité et de l'interopérabilité des architectures orientées services classiques, suppose de lever plusieurs verrous scientifiques :

- Comment permettre de structurer les propriétés fonctionnelles et non fonctionnelles des services industriels pour permettre de les sélectionner efficacement en fonction des besoins ?
- Comment organiser une composition « métier » capable d'intégrer les contraintes non fonctionnelles pour permettre de composer des processus suivant effectivement la chaîne de la valeur ?
- Comment faire interopérer cette architecture orientée services industriels avec le SI traditionnel de l'entreprise de manière à permettre l'alignement du SI sur le métier et limiter les coûts de déploiement ?

Pour répondre à ces questions, nos propositions porteront sur la spécification de services industriels qui intégreront la définition du produit, des ressources, des délais de production, des contraintes industrielles… Nous proposerons une taxonomie permettant d'organiser l'ensemble de ces propriétés et construirons une ontologie pivot pour faire communiquer différents domaines métier. Pour permettre la communication entre les différents systèmes du SI, nous proposerons un processus de médiation basé sur cette ontologie pivot. Enfin, nous développerons une approche originale centrée sur la composition dynamique (ou pseudo-dynamique) métier des services industriels pour construire des processus à la demande et adapter leur exécution selon le contexte dans une vision « au plus juste ».

Ceci permettra t il de rendre le SI lui-même Lean ? Si on envisage cette question en terme de réduction des gaspillages (activités non source de valeur pour le client), cette approche permet de mieux aligner l'usage du SI sur le fonctionnement de l'entreprise et rationalise la médiation entre briques logicielles différentes. De ce fait, les traitements visant à réduire les incohérences du SI (représentant des tâches non source de valeur donc des gaspillages) seront limitées. De plus, le meilleur alignement du SI sur le métier permettra de suivre plus exactement la chaîne de la valeur.

1.3 Organisation du Manuscrit

Ce manuscrit est organisé en deux grandes parties (Figure 1.1).

L'état de l'art débute avec une présentation des exigences de la stratégie Lean pour en tirer une synthèse détaillée des impacts de cette stratégie sur le SI de l'entreprise (chapitre 2). Réorganiser l'entreprise (et son SI) sur la stratégie Lean suppose de pouvoir modéliser ses activités. Dans le chapitre 3 nous présenterons quelques méthodes de modélisation d'entreprise avant de nous focaliser sur l'organisation des SI d'entreprise. Le chapitre 4 décrit l'existant du SI. Il présente

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

différentes solutions proposées dans la littérature pour pallier aux problèmes d'interopérabilité technologique et sémantique du SI afin d'aligner le SI sur le métier de l'entreprise et les limites de chacune d'elles.

A partir des analyses menées dans cet état de l'art, nous présenterons notre contribution dans la deuxième partie de ce mémoire.

Dans le chapitre 5, nous introduisons notre contribution : une architecture orientée services industriels intégrant la logique métier et permettant une composition métier dynamique pour configurer des processus à la demande. Nous présentons également les champs d'application du service industriel à savoir un système de production et un système hospitalier dans ce chapitre.

Le chapitre 6 propose le bus de services industriels supportant cette vision. Cette architecture de bus enrichit les ESB traditionnels par une couche sémantique métier. Ce bus apporte un alignement « inter-métiers » (dans un cadre de collaboration interentreprises) et un alignement entre le métier et la technologie pour conduire au mieux la chaîne de valeur de l'entreprise.

Enfin, un chapitre de conclusion générale (chapitre 7) résume les principales contributions de cette thèse et les enseignements tirés de leurs résultats avant de proposer quelques perspectives prolongeant ce travail.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

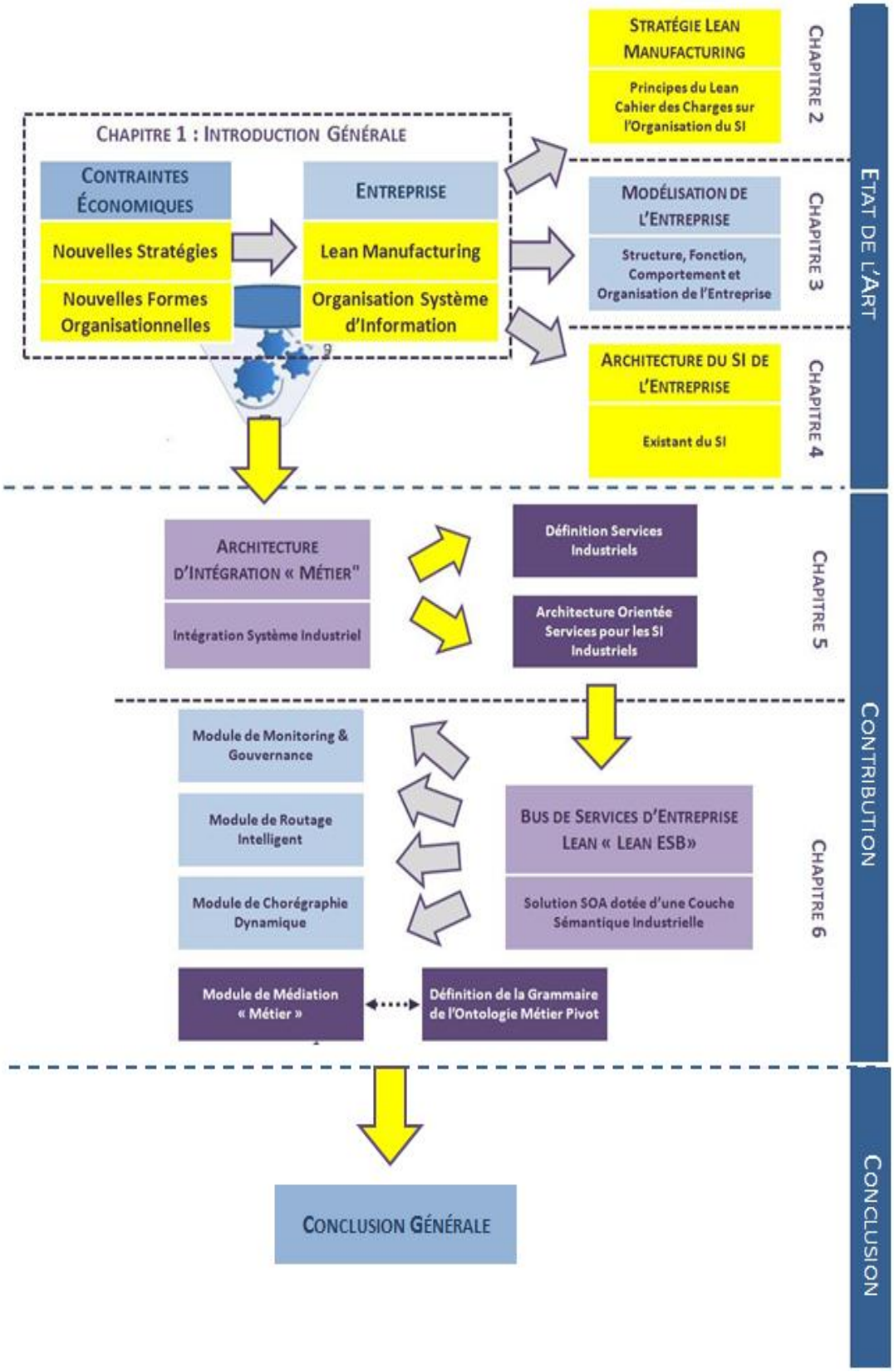


Figure 1.1. Organisation des Chapitres du Manuscrit

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

Chapitre 2 Stratégie « Lean Manufacturing »

2.1 Introduction 11

2.2 Stratégie Lean 11

2.3 Pilotage des Flux “Juste à Temps” 13

2.4 Gestion des Améliorations 14

2.5 Un Plan d’Action Lean : « Toyota Production System » 15

2.6 Etude des Exigences d’une Stratégie Lean sur le SI 18

2.7 Conclusion 22

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

2.1 Introduction

La stratégie de production « Lean Manufacturing », est apparue après la seconde guerre mondiale. L'appellation Lean a été inventée en 1987 en référence à une production au plus juste selon le principe de « produire toujours plus avec moins de moyens » et a été proposée aux USA en 1990. Elle repose sur une meilleure façon d'organiser et de gérer la relation avec la clientèle, le développement des produits, la chaîne de production et la chaîne des fournisseurs. Le Lean Manufacturing est une approche systématique d'identification et d'éradication des gaspillages par le progrès permanent, l'amélioration continue et la recherche constante de la perfection (Womack & Jones, 2003). Cette stratégie change ainsi la manière de travailler, de penser et de considérer l'entreprise. Le Lean Manufacturing se base ainsi sur des principes simples :

- définir la valeur telle qu'elle est perçue par le client final
- identifier les flux de valeur en supprimant les tâches non créatrices de valeur
- favoriser l'écoulement des flux
- tirer les flux pour éviter la surproduction
- viser la perfection

Ce chapitre introduit d'abord un état de l'art sur la stratégie Lean, les principes d'analyse de la valeur, la gestion de la qualité, la gestion de la productivité et de la réactivité industrielle. Etant donné que les flux de production sont couplés à des flux d'information (informations sur le produit, les quantités, les délais de production…), la réussite d'une stratégie Lean suppose la mise à disposition d'une information cohérente et de flux d'information fluides. Nous conclurons donc ce chapitre en identifiant les challenges d'une stratégie Lean sur l'organisation des flux d'information et du SI de l'entreprise.

2.2 Stratégie Lean

Lorsque l'entreprise met en œuvre une stratégie Lean pour améliorer un produit ou un service déjà existant, le but est de concevoir un produit parfaitement adapté aux besoins de son utilisateur et ce au coût le plus faible, sans pour autant réduire le niveau de service attendu. C'est une stratégie compétitive, organisée et créative visant la satisfaction du client par une démarche spécifique de conception. La valeur du produit est une grandeur qui croît lorsque la satisfaction du besoin augmente et que le coût du produit diminue (Roura, et al., 2006).

Lorsque l'entreprise définit avec précision la valeur, identifie l'ensemble de la chaîne de valeur et organise les tâches génératrices de valeur en flux tirés, elle offre des produits qui répondent de mieux en mieux aux attentes de ses clients. La recherche de la perfection passe par la transparence : tous les acteurs ont une vision globale de la situation et trouvent aussitôt le moyen de créer de la valeur et proposer des améliorations. L'entreprise Lean doit entretenir des relations partenariales riches avec ses fournisseurs et les inciter à adopter ses méthodes de production. Par conséquent, le Lean est une stratégie en évolution constante à long terme (Roura, et al., 2006).

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

L'école du Lean a dépassé son cadre initial (l'organisation de la production) pour être perçue comme une méthode pertinente pour combattre toutes les inefficiences. L'intérêt pour le Lean s'étend rapidement à l'organisation des processus de l'entreprise, au développement d'outils informatiques, à la mise en place de méthodes agiles… L'actif clé d'une entreprise Lean est la valeur. L'entreprise redéfinit la valeur produite à partir des besoins clients pour développer un schéma de production adéquat. L'entreprise est appelée à produire en « tirant » sa production à partir du client et non plus dans une logique de flux poussé en fonction des capacités locales de production. Pour répondre à ce besoin l'entreprise doit repenser ses lignes de produits et les adapter aux besoins des clients, et non pas le contraire. Elle se doit de livrer des quantités plus faibles, être flexible et répondre au plus vite à des commandes tardives et spécifiques. Elle doit également rester proche du terrain, faute de quoi la réactivité serait affectée.

Pour fabriquer des produits de qualité, la recherche de perfection commence dès la conception (Womack & Jones, 2003). La chaîne de valeur regroupe un ensemble d'actions nécessaires pour faire franchir à un produit les trois phases critiques du management Lean :

- La résolution des problèmes
- La gestion de l'information
- La phase de transformation physique.

La chaîne de la valeur regroupe des activités principales et des activités de type support :

- Les activités principales représentent la réalisation d'un produit ou d'une prestation de service associée (fonction de logistique, de transformation, de commercialisation et de service après-vente).
- Les activités de type support fournissent des services aux activités principales (fonction de gestion des achats et des approvisionnements, de développement technologique, de gestion des ressources humaines et l'infrastructure de la firme) (Porter, 1986).

La gestion de la chaîne de la valeur instaure des principes de gestion de la qualité tels que l'élimination des déchets, des pannes, des anomalies de production… La chaîne de la valeur peut s'étendre au contexte de collaboration interentreprises. En effet, l'entreprise se concentre sur son cœur de métier et externalise les activités secondaires à des tiers afin de satisfaire les commandes clients à moindre coûts, moindre délais en maîtrisant la qualité.

La gestion de la qualité concoure à l'obtention de la valeur dans une stratégie Lean. Les critères de qualité sont définis précisément et sont pris en compte dans le processus de production. La gestion de qualité est intégrée au processus de pilotage et est liée à la performance des équipements et à la maîtrise des processus (Womack & Jones, 2005). A la différence des organisations industrielles en flux poussé où les tâches sont regroupées par catégorie (pour les gérer plus facilement) et où la production est organisée en lots (ce qui entraîne des immobilisations de produits « encours »), la démarche Lean propose d'organiser la production selon une « chaîne de valeur » dans une logique de flux continu. La chaîne de valeur reflète exactement les tâches à accomplir pour satisfaire les besoins du client : ceci conduit à supprimer

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

toutes les tâches ne contribuant pas à créer cette valeur et donc éviter une première source de gaspillage. La gestion de la production en flux continu vise quant à elle à éradiquer une deuxième source de gaspillage liée aux encours et temps d'attente.

Cette logique de pilotage en flux continu repose sur la réduction du cycle de fabrication et impose une gestion de qualité totale ce qui contribue à éradiquer des gaspillages (produits ou rebut) (Womack & Jones, 2003).

Pour respecter ces contraintes, l'organisation industrielle doit être flexible (pour supporter l'écoulement de différents flux liés à des produits variés) en limitant le nombre de ressources réactives (pour être rapidement reconfigurable) et agiles (pour s'adapter aux besoins des clients). La réussite est conditionnée par la formation du personnel, la gestion de la fiabilité des équipements et la flexibilité des moyens de production. L'entreprise est, ainsi, appelée à augmenter la flexibilité de tout le processus logistique par une réactivité à la demande du client. Le système de production doit donc être doté de méthodes permettant le changement rapide d'outils de production en diminuant le coût global de production à travers une maîtrise des aléas et des gaspillages (Ballé, et al., 2006). Pour cela, l'entreprise doit procéder à l'organisation des processus en suivant la chaîne de la valeur et organiser un pilotage en flux tiré pour produire « juste à temps » et donc limiter les attentes / stocks intermédiaires sources de gaspillage au sens Lean.

2.3 Pilotage des Flux "Juste à Temps"

L'entreprise Lean s'emploie à définir correctement la valeur des produits en assurant un dialogue avec ses fournisseurs et ses clients. A travers le concept du juste à temps (ou « JAT »), l'entreprise se tourne vers le besoin précis de son client, avec comme objectif principal la réduction des coûts de production.

L'information et l'automatisation du système de production et de gestion des stocks contribuent à la réussite de la production JAT : l'information doit être précise, le programme de fabrication respecté et le temps de réglage diminué. La qualité des produits encours et finis et le système productifs doivent être irréprochables afin d'empêcher tout arrêt de l'ensemble de la chaîne de production. La gestion des flux JAT nécessite donc la mise en place d'un processus par lequel les ordres de production sont séquencés, selon leurs priorités (liées aux délais fixés par les clients) et en optimisant l'utilisation des lignes et des équipements de production.

Dans cette logique, le temps de réalisation d'un produit est fortement conditionné par l'approvisionnement en matières premières, en éléments d'assemblage ou pièces détachées à tous les niveaux de la chaîne de fabrication (Ait Hssain, 2000). Pour cela, il faut une infrastructure logistique adaptée pour pouvoir disposer des moyens (matériels (machines) et ressources (humaines et financières) nécessaires au bon écoulement du flux en évitant toute attente. Cette logique au plus juste suppose que les approvisionnements soient sans défaut pour être directement utilisables, faute de quoi il faudra attendre un nouvel approvisionnement. Pour tendre vers le niveau de « perfection » requis, il faut mettre en place une logique d'amélioration

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

continue pour qu'en cas d'erreur, les défauts soient pris en compte pour qu'ils ne puissent pas réapparaitre.

2.4 Gestion des Améliorations

La recherche de la perfection d'un système Lean permet d'accroître la productivité (Womack & Jones, 2003) rapporte qu'il est possible de réduire les délais de fabrication et les stocks de 90%, les taux de rebuts et les accidents de travail sont aussi divisés par deux.

La recherche de la perfection passe par le contrôle : les pièces défectueuses doivent être identifiées le plus tôt possible. Le principe est d'arrêter le processus dès qu'il produit une pièce non conforme pour retrouver la cause de l'anomalie (au niveau opérationnel). Ainsi non seulement aucune pièce défectueuse ne passe à l'étape suivante mais les causes des défauts sont corrigées le plus vite possible. Une entreprise qui parvient à éliminer le gaspillage issu des pièces défectueuses rapidement déploie une politique permettant de cerner des objectifs simples et chiffrer des objectifs d'amélioration à réaliser ce qui améliore sa performance à moyen et long terme (Roura, et al., 2006). Plusieurs méthodes peuvent contribuer à la gestion des améliorations.

2.4.1 Méthode des 5S

Cette méthode s'appuie sur 5 principes qui sont issus des entreprises japonaises (George, 2005) :

- SEIRI – Trier pour qu'aucun objet inutile ne se trouve sur le poste de travail à savoir de la matière, des papiers, des produits finis ou semi finis
- SEITON – Ranger pour assurer une efficacité maximale
- SEISO – Nettoyer pour disposer d'une propreté optimale
- SEIKETSU –Standardiser les modes opératoires
- SHITSUKE – Suivre pour maintenir les quatre premiers principes

Dans cette logique, la maintenance est un processus qui doit réintégrer la production pour prévenir les pannes au lieu d'intervenir une fois que la production a été lancée et donc interrompre le flux.

2.4.2 Le TPM (Total Productive Maintenance)

Le principe du TPM est d'augmenter au maximum le taux d'utilisation des machines existantes et leurs performances en termes de qualité, plutôt que d'investir sur de nouveaux équipements coûteux et complexes. Pour utiliser ces équipements de façon optimale, il faut se focaliser sur leur fonctionnement, leur utilisation et leur maintenance, afin de réduire les pannes et les défauts (George, 2005). Pour ce faire, il faut passer par cinq étapes :

- mettre en place des actions d'améliorations visant à augmenter l'efficience des équipements
- créer un système de maintenance autonome pris en charge par la production
- établir un système de maintenance programmée

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

- mettre en place des programmes de formation
- développer la maintenance préventive.

2.4.3 Le SMED – Single Minute Exchange of Die

C'est une méthode systématique d'analyse et d'optimisation des temps de changement de série dans le but :

- d'améliorer le Temps de Rendement Synthétique (TPS) de l'équipement
- de réduire la taille des lots.

Cette méthode correspond à une organisation selon la logique du flux tiré en réponse à la demande des clients et exige la mise en place de séries courtes et diversifiées. Elle suppose une planification rigoureuse de la production et du travail simultané de plusieurs personnes sur un même espace (George, 2005).

2.4.4 Le Kaizen

C'est une méthode japonaise introduisant des améliorations continues de production sans trop d'investissement. Son objectif est de baisser les coûts de revient en :

- éliminant les activités sans valeur ajoutée
- améliorant les procédés de production à travers la réduction des temps opératoires, les temps de circulation des produits, etc.
- rationnalisant le processus de travail, les affectations des personnels, les espaces, etc. (George, 2005).

2.5 Un Plan d'Action Lean : « Toyota Production System »

Comme nous l'avons vu précédemment, le Lean se base sur la définition des flux juste à temps et sur la gestion des améliorations. Ceci implique une organisation industrielle flexible, agile et réactive vis à vis de la demande du client. Les processus sont organisés en flux tirés en suivant la chaîne de valeur afin de réduire les coûts de production et éliminer les gâchis. Les flux doivent s'exécuter sans gaspillage et dans une logique d'amélioration continue. Pour illustrer cette démarche, nous présentons dans cette section, un exemple extrait d'un plan d'action adopté par (Womack & Jones, 2003) dans leur ouvrage « Système Lean : Penser l'Entreprise au Plus Juste ».

La réussite durable d'une démarche Lean est conditionnée par la mise en place d'un système rigoureux fondé sur des processus Lean supportant un processus d'amélioration continu : il faut étudier la situation générale de l'entreprise, identifier les besoins les plus importants pour mettre au point le plan d'action général avant d'entamer un processus d'amélioration.

L'objectif premier est de cartographier la chaîne de valeur. Pour cela, on doit faire par écrit la liste de toutes les étapes du processus tel qu'il existe afin de définir la « Situation Actuelle » (Figure 2.1) et permettre la visualisation des flux correspondant grâce à un logigramme – Flow chart – mettant en évidence les temps des opérations à valeur ajoutée et non valeur ajoutée.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

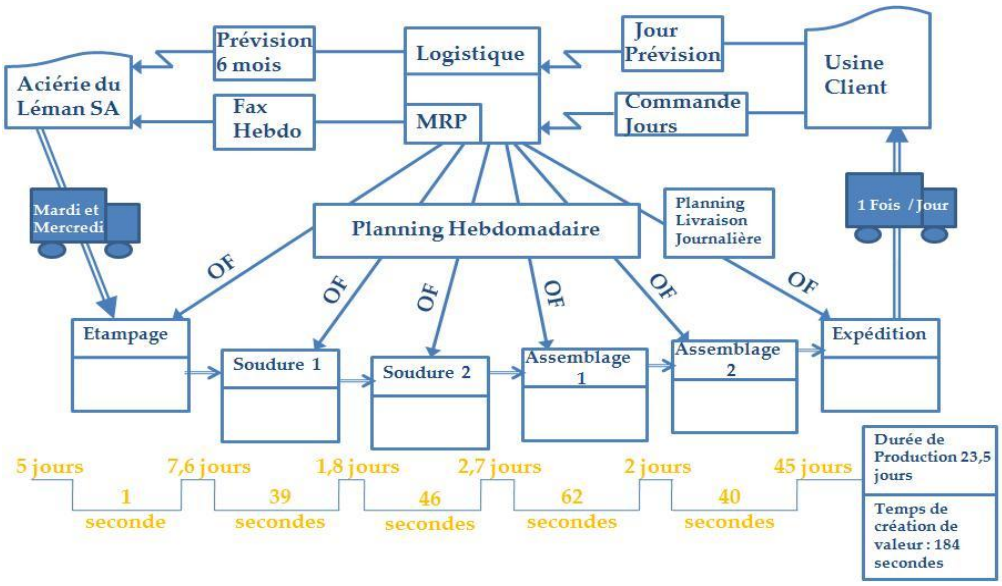


Figure 2.1. Situation Actuelle, Exemple (Womack & Jones, 2003, pp 385)

Cette situation actuelle (Figure 2.2) :

- montre les encours qui s'accumulent entre les différents stades de la fabrication
- permet de comparer le temps pendant lequel la valeur est créée
- montre que la valeur est créée sur un lapse de temps très court (184 secondes) par rapport à la durée totale du processus qui est très longue (23,5 jours).

Situation Actuelle	
Temps Total d'Exécution	23, 5 jours
Temps de Création de Valeur Ajoutée	184 secondes
Temps de Changement d'Outils	10 minutes dans l'assemblage 1 heure dans l'emboutissage
Temps de Fonctionnement	80% dans le soudage / assemblage
Déchet / Retouches	5%
Stocks	17130 pièces
Production Toutes les Pièces	Toutes les deux semaines

Figure 2.2. Fiche Résultats de la Situation Actuelle (Womack, et al., 2003, pp 386)

La cartographie des flux aide les responsables à visualiser les possibilités d'amélioration pour réduire fortement les délais de fabrication du produit, éliminer les étapes inutiles et remédier aux problèmes de qualité, de flexibilité, de disponibilité et de capacité (Womack, et al., 2005). Les mesures à prendre portent sur l'amélioration de la capacité (capabilité), la disponibilité (temps de fonctionnement) et la flexibilité (temps de changement d'outils), ainsi que sur l'élimination des stocks qui bloquent le flux.

Les axes d'amélioration supposent de maîtriser les flux d'information (du client au fournisseur) et la mise en place d'une logique en tiré et non plus en flux poussé. Cette dernière transformation suppose la création de cellules capables de réaliser les opérations de production.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

La Figure 2.3 présente un simple système en flux tiré : un boîtier « Heijunka » (un dispositif de lissage de la demande) envoie à intervalle régulier les signaux « Kanban » à la cellule (soudage, assemblage…). Le résultat est un processus beaucoup plus simple et apporte une diminution de la durée de production (4,5 jours) et une réduction du gaspillage.

La politique Lean a pour but de sensibiliser chaque acteur de la chaîne de valeur à la performance de l'ensemble de cette chaîne, aux causes de gaspillage et aux démarches d'amélioration les plus efficaces et les plus productives et donc de réorganiser l'entreprise. En effet, le déploiement d'une politique Lean met à jour les contradictions entre les plans d'action de chaque service de l'entreprise et leurs conséquences réciproques.

Le principe de la démarche Lean est de changer l'organisation de l'entreprise : une personne responsable d'un secteur donné anime le processus de réalisation de la carte. Le rôle du responsable de la chaîne de la valeur est de :

- développer la vision du produit,
- déterminer la situation présente de la chaîne de valeur
- imaginer la situation future.

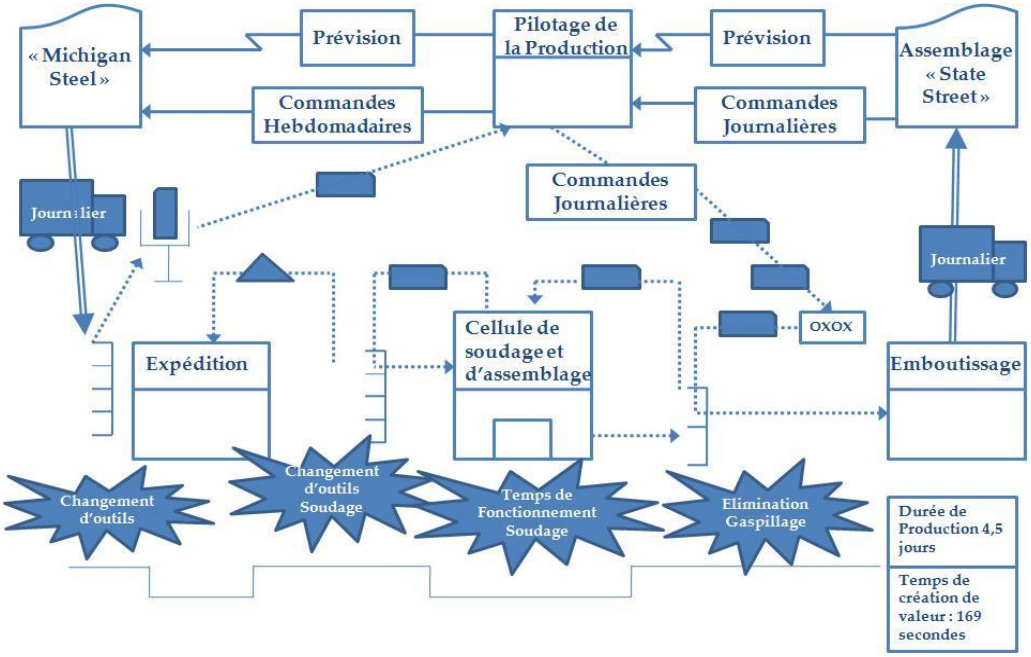


Figure 2.3. Carte de la Chaîne de Valeur dans une Situation Future (Womack, et al., 2003, pp 386)

Le responsable intègre les principes du Lean en trois phases :

- une phase de réingénierie
- une phase de gestion des systèmes en flux tirés
- une phase de gestion de qualité et de maintenance

L'enjeu est de créer un dialogue entre tous les experts, afin que le responsable de la chaîne de la valeur obtienne des directives cohérentes, efficaces, exprimées d'une seule voix pour maximiser

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

le taux d'amélioration. Déployer une politique Lean est une tâche difficile, car elle oblige à faire des choix délicats concernant :

- ce qui est réellement plus important pour l'entreprise
- ce qui est réellement faisable.

Comme le montre le plan d'action, la mise en œuvre d'une stratégie Lean porte principalement sur l'organisation de la production sans prendre en compte la valeur ajoutée du système d'information. Or, la mise à disposition d'informations cohérentes et de flux d'information fluides peut également contribuer à l'amélioration globale du processus. Dans la section suivante, nous proposons de considérer le SI comme une source possible d'amélioration et identifions les verrous scientifiques à lever pour que le SI participe effectivement à la mise en place d'une stratégie Lean.

2.6 Etude des Exigences d'une Stratégie Lean sur le SI

Dans cette section, nous allons reprendre les exigences du Lean pour en tirer les besoins en réorganisation du SI de l'entreprise. Nous nous basons sur la définition des besoins du Lean illustrés dans la Figure 2.4[1] :

- l'implication du personnel / le contrôle de la production à temps
- la définition de la chaîne de la valeur
- l'élimination du gaspillage
- l'adoption de cycles de production courts
- la gestion des systèmes en flux tirés / la maintenance préventive
- l'incorporation de technologies / la réduction des temps d'exécution
- la gestion de la qualité
- l'amélioration continue

[1] http://www.buker.com/Lean-manufacturing/education

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

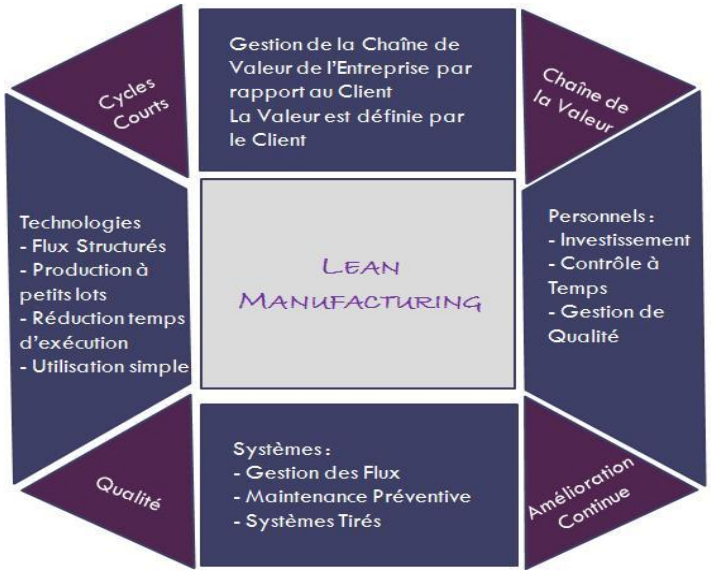


Figure 2.4. Exigences du Lean

La stratégie Lean ne considère que le flux de production et les tâches appartenant effectivement à la chaîne de la valeur. Or le modèle traditionnel de chaîne de la valeur de Porter considère le SI comme une activité de support. C'est pourquoi, en général, la stratégie Lean ne tient pas compte du SI de l'entreprise. Cela constitue néanmoins un verrou dans la réussite d'une telle stratégie puisque la fluidité des flux physiques dépend en grande partie de la fluidité de la circulation des informations pour adapter les décisions. La démarche Lean impacte les processus et les différents points de vue sur le SI (Figure 2.5) correspondant ainsi à :

- une vision « statique » ou de conception : elle rassemble les informations reliées aux traitements des commandes telles que les ressources nécessaires et disponibles, la définition du produit et de la production… Chaque commande client génère un ordre de fabrication dépendant de la gamme du produit choisi avant de passer aux opérations d'ordonnancement.
- une vision « dynamique » ou d'exécution : elle est associée au suivi de la fabrication dans le but d'éliminer les anomalies de production et les sources de gaspillage et regroupe principalement les notions de suivi et de traçabilité au sein de l'organisation mais aussi le retour des clients par rapport à la qualité des produits finis, les délais de livraison...
- une vision orientée « processus » : elle modélise la chaîne de la valeur globale de l'entreprise et fait appel aux deux autres visions du SI puisqu'un processus est un ensemble d'activités nécessitant un suivi, un ensemble de ressources et des paramètres d'exécution définissant l'ensemble des opérations.

Pour supporter ces différentes visions, le SI doit offrir une vision claire de l'ensemble des activités de l'entreprise lui permettant ainsi de définir les processus à la demande et d'éliminer les tâches non créatrices de valeur dans l'organisation de ses flux. Il doit s'aligner sur la chaîne de la valeur de l'entreprise, intégrant ainsi des vues transverses de la production et s'aligner sur le métier pour organiser des flux tirés d'informations. En outre, pour permettre un recentrage sur le cœur de métier (source de valeur) tout en répondant aux demandes des clients pour une offre globale

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

produit/service, il convient de prendre en compte l'impact de cette démarche sur les pratiques collaboratives.

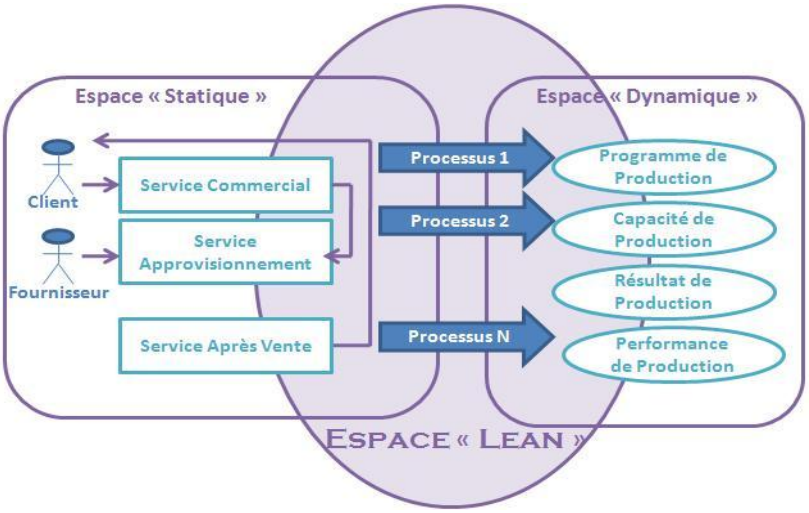


Figure 2.5. Positionnement du Lean par rapport au SI de l'Entreprise

2.6.1 Impact du Lean sur les Pratiques de Collaboration

Une entreprise Lean entretient des relations partenariales avec ses collaborateurs pour assurer une bonne rentabilité et répondre aux délais imposés par ses clients. Elle se focalise sur son cœur de métier et externalise les activités secondaires à des partenaires induisant de ce fait une chaîne de valeur globale associée au cadre de collaboration interentreprises. C'est dans un tel cadre qu'une organisation Lean peut évoluer entre les partenaires d'une simple relation client fournisseur vers une politique de collaboration (Ballé, 2008). Les organisations de collaborations interentreprises privilégient la capacité de répondre à court terme aux changements structurels grâce à la souplesse, l'agilité et l'ouverture du SI de l'entreprise. Outre la diminution du temps de production, elles rendent les entreprises plus flexibles et mieux adaptées aux besoins du marché (Goldman, Nagel, & Preiss, 1995) : ce modèle de gestion a permis de réduire les stocks de 50%, de diminuer les coûts en garantissant un taux de service supérieur à 98,5% (Jouenne, 2010).

La stratégie de collaboration suppose que le SI relie les différents partenaires grâce à un échange d'informations cohérentes et fluides au long du processus de production. Le SI doit donc être capable de :

- Faire communiquer et partager efficacement l'intention stratégique du Lean Manufacturing
- Mobiliser les ressources nécessaires et aligner les processus métier et de collaboration
- Coordonner les fonctions métier en éliminant les sources de gaspillage
- Assurer l'intégration des partenaires

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

2.6.2 Impact du Lean sur le SI

Le SI de l'entreprise regroupe diverses et multiples applications permettant de gérer la commande client :

- le CRM (Customer Resources Management) permet de centrer les processus autour du client pour définir la valeur de l'entreprise.
- le SCM (Supply Chain Management) permet de gérer les flux physique de l'entreprise avec son environnement.
- l'ERP (Enteprise Resource Planning) est un système opérationnel qui gère la production à travers des applications informatiques dédiées.
- le MES (Manufacturing Execution System) est un système de supervision de l'atelier. Il regroupe différentes fonctionnalités en particulier la traçabilité et la généalogie des produits(Mc Clellan, 1997).

La diversité et la multiplicité des logiciels (qui seront présentés dans le chapitre 4) au sein de l'organisation sont autant de sources de gaspillage dans le SI et dans l'organisation des processus. La redondance et l'incohérence de l'information, le non alignement sur le métier et la non intégration du système de production sont des sources de gaspillage propres au SI. Le non alignement sur la chaîne de la valeur, une définition non précise de la demande client, des tâches inutiles dans les processus de production sont autant de sources de gaspillage dues au SI dans l'organisation de la production.

Pour éliminer les sources de gaspillage liées au SI, il faut :

- définir un SI flexible et agile pour pouvoir le réorganiser en suivant les flux de la production
- assurer l'interopérabilité pour permettre une meilleure circulation des flux de l'information entre les différents silos
- aligner le SI sur le métier pour lui permettre de suivre la production.

2.6.3 Impact du Lean sur le Système d'Information Industriel

Le système de production de l'entreprise (ensemble de pratiques, de règles, d'outils et de méthodes qui forment la culture industrielle de l'entreprise (Javel, 2004)) est au cœur des préoccupations de la démarche Lean puisqu'il contribue à la création de la valeur du produit. Le SI joue un rôle pivot pour assurer la communication entre le système physique de production et le système de pilotage (Figure 2.6) (Habchi, 2001).

Dans une organisation Lean, le SI industriel doit être flexible pour gérer les processus et les ressources au plus juste et répondre aux normes de qualité. Il doit assurer la détection des anomalies de production, des pièces défaillantes, des pannes, etc. en temps réel pour entamer les procédures correctives. Or, le SI industriel n'est pas toujours pris en compte dans l'organisation du SI global de l'entreprise dans la mesure où il existe :

- des différences culturelles entre les métiers de production et de gestion

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

- et une diversité des contraintes et des approches d'un type d'industrie à un autre. Ce point est l'un des obstacles principaux dans le cadre de collaboration interentreprises

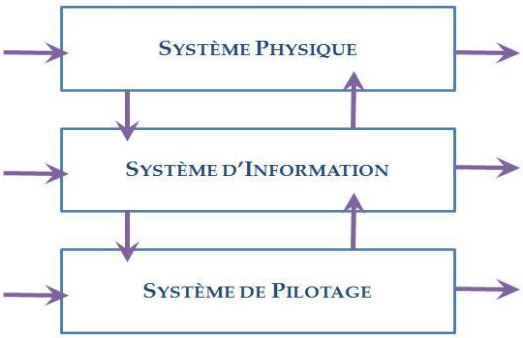


Figure 2.6. Apport du SI

Pour pallier ces inconvénients, le SI doit :

- permettre d'intégrer le SI industriel dans l'organisation du SI global afin de conduire la valeur : définir un vocabulaire d'échange commun entre les facettes de gestion et de production
- présenter des facteurs d'agilité et d'interopérabilité technologiques entre les différentes applications de gestion et de production intra et interentreprises pour permettre une reconfiguration à la demande
- assurer une médiation entre les niveaux métier et technologiques pour adopter une réelle organisation en flux tirés. Pour cela, il faudrait intégrer une ontologie métier pour concilier les différents métiers d'une part et entre le métier et la technologie de l'entreprise d'autre part.

Les ontologies étant généralement définies par secteur métier, il faut organiser une ontologie pivot entre les différents secteurs métier de l'entreprise. Si le standard ISA S-95 définit un vocabulaire commun d'échange de données entre gestion et production et standardise de ce fait le terrain d'application du Lean Manufacturing dans l'entreprise, il faudra également l'enrichir avec d'autres concepts métier et organisationnels pour définir une réelle ontologie pivot.

2.7 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons défini les principes d'une stratégie Lean Manufacturing et détaillé cette approche. Ensuite, nous avons cité quelques améliorations constatées en termes de gain de temps et de qualité de production, en nous appuyant sur un exemple proposé par (Womack & Jones, 2003). Nous avons, ensuite, étudié les exigences du Lean sur le SI de l'entreprise pour :

- Réorganiser le SI pour définir des flux d'information suivant une logique en flux tiré,
- Percevoir le SI comme activité principale (et pas comme activité support) regroupant des tâches sources de valeur ajoutée,

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

- Aligner le SI sur le métier (et non le contraire) pour définir une composition dynamique (ou pseudo dynamique) permettant de construire à la demande des processus métier cohérents.
- Disposer d'une vision transversale du système de production en définissant des services industriels regroupant une logique métier

Pour réorganiser les activités selon la chaîne de la valeur, cœur de la démarche Lean, il faut modéliser l'organisation des activités principales et support et décomposer l'organisation en processus (Porter, 1986). Les méthodes de modélisation permettent de décrire les activités d'une manière opérationnelle, de formuler une représentation abstraite des flux métier, décisionnel, informationnels… et de clarifier l'organisation de l'entreprise et de son SI. Dans le chapitre suivant, nous allons présenter différentes méthodes et méthodologies de modélisation de l'entreprise, afin de déterminer celle qui convient le plus aux spécifications du Lean avant de présenter un état de l'art plus complet sur les SI.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

Chapitre 3 Modélisation de l'Entreprise

3.1 Introduction 25

3.2 Modélisation d'Entreprise lors de la Mise en Œuvre d'une Démarche Lean 26

3.3 Méthodologies de Modélisation d'Entreprise 27

3.4 Méthodes de Modélisation Informatiques 36

3.5 Méthodologie de Modélisation Orientée Processus : ARIS 40

3.6 Bilan des méthodes de modélisation 46

3.7 Conclusion 48

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

3.1 Introduction

Nous avons vu dans le chapitre précédent que la mise en place d'une stratégie Lean suppose de réorganiser l'entreprise selon la chaîne de la valeur. Pour cela, il faut pouvoir appréhender l'organisation industrielle existante et définir l'organisation cible pour permettre d'organiser les flux au plus juste selon l'écoulement de la chaîne de la valeur. Cela suppose donc de modéliser non seulement les processus mais aussi les ressources, les flux d'information…

Modéliser l'organisation d'une entreprise est une approche puissante au service de l'organisation (ou de la réorganisation) industrielle (Baïna, 2006) ce qui peut permettre d'obtenir une meilleure efficacité et une évolution en harmonie avec le marché et l'environnement socio-économiques. La modélisation de l'entreprise porte sur la modélisation des processus, des objets manipulés, des informations, des ressources nécessaires pour l'exécution des processus… Dans le cas d'une démarche Lean, le fil conducteur de la modélisation est la chaîne de la valeur.

Le périmètre de modélisation est variable et peut porter sur une entité organisationnelle qui représente une ligne de production, un ensemble de processus métier, voire l'organisation de l'information… Il est possible de proposer un modèle d'organisation d'une entreprise puis utiliser ce modèle pour aboutir au modèle de son SI support. Ce dernier point est intéressant dans une approche Lean puisque la recherche des sources de gaspillage (c.à.d. les activités n'apportant pas de valeur ajoutée au sens du client) doit aussi s'appliquer au SI, non seulement parce que le SI a un effet structurant sur les processus et l'organisation de l'entreprise mais aussi parce que l'organisation du SI lui-même peut entraîner des sources de gaspillage (double saisie, mauvais classement des informations…). La modélisation contribue non seulement à une meilleure prise en compte des exigences (et donc favorise l'alignement du SI sur le métier) mais peut aussi permettre de détecter des sources de gaspillage dans le SI (mauvais alignement de processus, redondance de données…). En outre, une meilleure connaissance de l'organisation de l'entreprise et une meilleure spécification de ses « interfaces » permet d'améliorer l'interopérabilité et favorise les organisations collaboratives (mise en place d'une supervision distribuée, partage d'information et de connaissances, organisation de la coordination, des codécisions ou des phases de négociation…).

Dans ce chapitre, nous identifions d'abord les exigences sur la modélisation lors de la mise en œuvre d'une démarche Lean avant de dresser un état de l'art des principales méthodes de modélisation permettant d'intégrer les domaines fonctionnels, décisionnels et industriels. Du fait de la place occupée par l'information dans la chaîne de la valeur, nous présenterons ensuite des méthodes de modélisation orientées informatique. Enfin, nous introduirons les méthodologies de modélisation orientées processus pour décrire la structure des processus métier et les interactions entre les acteurs et les processus de l'entreprise pour respecter la logique d'organisation selon les flux de la valeur.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

3.2 Modélisation d'Entreprise lors de la Mise en Œuvre d'une Démarche Lean

Dans le cadre de la mise en œuvre d'une démarche Lean, les besoins de modélisation de l'entreprise sont focalisés sur l'identification des activités et des processus nous permettant de composer la chaîne de valeur dans une logique de flux tiré. En effet, dans la logique Lean (qui est une stratégie de gestion « orientée client »), la chaîne de la valeur sert de point de départ pour la définition des activités et tâches à réaliser ainsi que sur leurs interdépendances afin de répondre aux besoins du client final. Les activités identifiées dans cette chaîne de valeur peuvent être (Porter, 2008) :

- des activités opérationnelles (achat, approvisionnement, production, vente…) propres à l'entreprise et participant directement au processus de transformation défini pour répondre aux besoins du client
- des activités de soutien propres à l'entreprise : ces activités bien que ne participant pas directement au processus de transformation, sont nécessaires pour exécuter les processus (par exemple, la gestion du SI peut être vue comme une activité de soutien).
- des activités externalisées lorsque l'entreprise confie à un tiers la gestion et l'opération d'une ou plusieurs activités nécessaires à son fonctionnement. Il s'agit de fonctions secondaires par rapport au cœur de métier de l'entreprise. Cette organisation repose donc sur une stratégie de co-industrie, sous-traitance… et conduit à des collaborations interentreprises.

La modélisation vise la représentation du système, tant au niveau de son état actuel que par rapport aux différentes possibilités d'évolution pour permettre d'optimiser ses performances. L'ensemble des méthodes existantes manipule les concepts d'activité, d'évènement, de ressources, de flux et de processus, comme illustré dans la Figure 3.1.

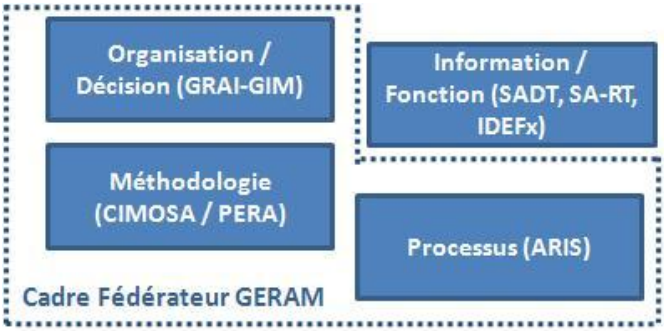


Figure 3.1. Organisation des Vues de Modélisation

La modélisation d'entreprise expose le fonctionnement de l'entreprise en intégrant plusieurs point de vue, chacun d'eux exprimant une perception spécifique de l'entreprise (c.à.d. qu'un point de vue met en évidence des aspects particuliers et rend transparent les autres aspects) :

- la vue fonctionnelle représente une hiérarchie de fonctions et décrit les flux d'entrée et de sortie de chaque fonction ainsi que les liens entre les fonctions.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

- la vue informationnelle regroupe toutes les entités de l'entreprise et l'ensemble des informations qui leur sont spécifiques et les relations de dépendances entre ces informations.
- la vue des ressources définit l'organisation des ressources pour supporter la mise œuvre des activités de l'entreprise.
- la vue organisationnelle rappelle l'organisation structurelle de l'entreprise et peut inclure la définition des responsabilités du personnel de l'entreprise.
- la vue décisionnelle est largement liée à la vue organisationnelle de l'entreprise et porte sur l'analyse des processus de décision.
- la vue processus définit l'organisation des processus en lien avec les objectifs stratégiques de l'entreprise.

La modélisation d'entreprise permet, donc, d'analyser conjointement le fonctionnement de l'entreprise et le positionnement et la structure de son SI.Ceci est intéressant dans une démarche de réingénierie Lean parce que la modélisation de l'entreprise nous permet d'obtenir une étude de l'existant qui permet d'identifier les sources de gaspillage tant au niveau des activités de l'entreprise (à travers les comportements de ses processus fonctionnels) que par rapport à l'organisation de son SI.

3.3 Méthodologies de Modélisation d'Entreprise

Notre état de l'art aborde différentes méthodologies de modélisation de l'entreprise. Il existe :

- des méthodologies de modélisation orientées sur les points de vue fonctionnels, décisionnels et sur le système industriel (GRAI, GIM, PERA, CIMOSA)
- d'autres solutions intégrées définissant un cadre fédérateur (GERAM)

Dans ce qui suit, nous présentons brièvement chacune de ces méthodologies de modélisation. Dans un premier temps, nous décrivons les méthodologies de modélisation (GRAI, GIM, CIMOSA, PERA puis le cadre fédérateur GERAM. Ensuite, nous présentons les méthodes de modélisation informatique. Enfin, nous présentons les méthodes de modélisation de processus.

3.3.1 GRAI (Graphe de Résultats et Activités Inter-reliées) et GIM (GRAI – IDEF0 – Merise)

GRAI permet de modéliser le cadre de décision de l'entreprise à travers une grille illustrée dans la Figure 3.2. Celle-ci situe les centres de décision, les uns par rapport aux autres et met en évidence les principaux liens décisionnels et informationnels des processus analysés (Roboam, 1993). Cette méthode modélise l'entreprise sous forme de trois sous-systèmes, à savoir le système de décision, le système d'information et le système physique, ou encore appelé système opérant.

Chaque Niveau de Décision est caractérisé par un horizon et une période définissant les critères de décomposition liés aux caractéristiques temporelles des décisions. L'Horizon correspond à la

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

durée de la portée de la décision, la période correspond à l'intervalle de temps au bout duquel il est nécessaire de remettre en cause les décisions élaborées sur l'horizon considéré. Chaque Niveau de Décision est décomposé en activités. Les activités d'un même niveau de décision sont regroupées selon leurs objectifs. On appelle Centre de Décision (CD) un ensemble d'activités ayant un même horizon et période et devant être exécutées suivant les mêmes objectifs donnés par un seul cadre de décision.

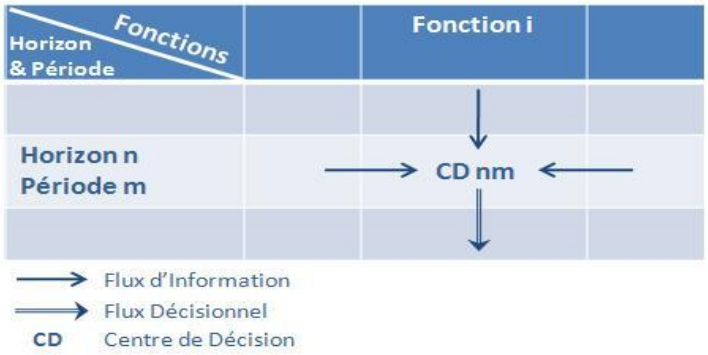


Figure 3.2. Grille GRAI

La méthode GRAI permet d'identifier différents concepts définissant la nature de l'activité en termes de décisions ou d'opérations, à travers le réseau GRAI, illustré dans la Figure 3.3. Elle prend en compte la modélisation des responsabilités réparties dans l'entreprise, en décrivant les flux informationnels, les ressources de l'entreprise et les processus.

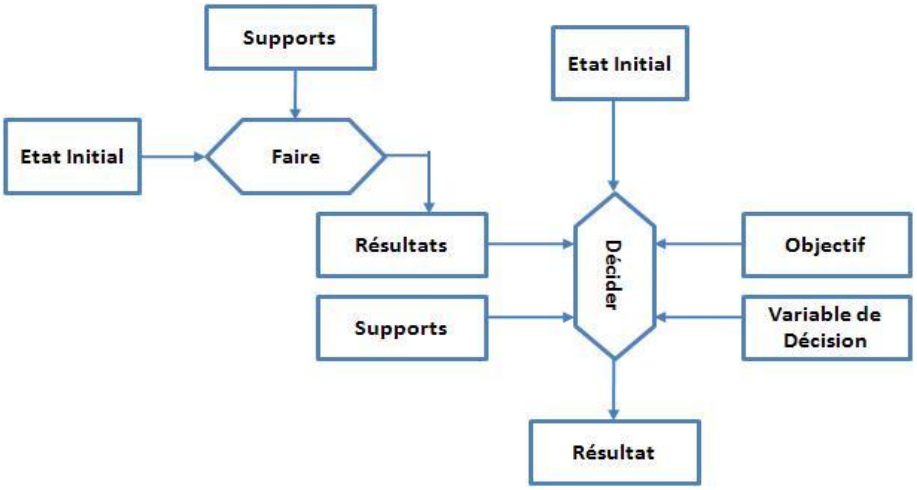


Figure 3.3. Réseau GRAI

Le réseau GRAI modélise tous les centres de décision et les activités décisionnelles groupées par fonctionnalités. Cependant, il ne représente ni échange d'information ni agencement des activités pour décrire un processus dans sa totalité : les ressources sont mentionnées, seulement pour les positionner dans le contexte de prise de décision et de répartition des responsabilités, sans décrire leur rôle.

La méthode de modélisation GIM a été développée pour compléter la méthode GRAI (Doumeingts, Vallespir, Zanettin, & Chen, 1992). Elle étend le champ de modélisation à tout le

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

système de production et plus seulement au système de décision. Elle intégre quatre différents domaines de modélisation :

- Processus
- Information
- Décision
- Physique

Elle intègre une série d'outils issus les méthodes de modélisation suivantes :

- Le système informationnel : le modèle Entité / Relation de MERISE (une méthode de conception et de mise en place du SI de l'entreprise décrivant les traitements par acteur)
- Le système décisionnel : la grille et le réseau GRAI
- Le système physique : la méthodologie IDEF0/SADT (modélisation des décisions, des actions et des activités d'un système).

Comme MERISE, GIM définit trois niveaux d'abstraction pour la modélisation :

- Le niveau conceptuel
- Le niveau organisationnel
- Le niveau physique ou opérationnel

Focalisées sur l'aspect décisionnel, les méthodes GRAI et GIM ont tendance à négliger les aspects fonctionnels, informationnels et physiques de l'entreprise. Elles doivent, donc, être enrichies pour intégrer les aspects informationnels et le système physique.

3.3.2 PERA (Purdue Enterprise Reference Architecture)

La méthodologie PERA est centrée sur l'ingénierie du système industriel de l'entreprise (Williams & Li, 1997). Cette méthode traite toutes les phases d'un cycle de vie d'une entité industrielle depuis sa conception jusqu'à sa mise en opération. Elle propose une architecture organisée en sept couches pour représenter les phases méthodologiques du développement d'un système :

- Couche identification : l'entité de l'entreprise à modéliser
- Couche conception : pour regrouper la description des besoins
- Couche définition : pour représenter les besoins de gestion et de production. Ces besoins sont, ensuite regroupés dans des modules ou fonctions pour mettre, ainsi, en évidence, les flux de matières et d'informations
- Couche de spécification : pour représenter les architectures d'information et de production en faisant intervenir le facteur humain selon ses compétences dans l'exécution de chaque tâche. Dans ce sens, cette couche permet de définir une architecture fonctionnelle et organisationnelle.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

- Couche de conception détaillée pour définir les technologies à utiliser pour accomplir les tâches spécifiées.
- Couche d'implantation pour spécifier les équipements physiques intervenants.
- couche de mise en œuvre et de maintenance.

PERA regroupe des vues informationnelles (planification, ordonnancement et contrôle) et des vues opérationnelles (liées à la production d'un bien ou service). La méthodologie PERA classe les activités selon qu'elles sont supportées par un acteur humain ou automatisées.

L'importance accordée à l'aspect humain constitue l'originalité de la méthodologie. En se basant sur la logique de notre cahier des charges (répartition des tâches et notion de rôles des ressources dans l'entreprise ce qui représente une partie de la description de l'aspect dynamique de l'organisation), PERA ne répond pas à ce besoin puisqu'elle définit la structure fonctionnelle et organisationnelle de l'entreprise. PERA repose sur l'aspect informationnel pour diriger la communication entre les différentes entités de l'entreprise ce qui correspond aussi à l'un de nos besoins. Toutefois, la description des processus reste indéfinie ce qui rend son utilisation caduque pour modéliser une organisation collaborative via les processus communs.

3.3.3 CIMOSA (CIM Open System Architecture)

La méthodologie de modélisation intégrée CIMOSA a été développée par le consortium AMICE dans le cadre de projets ESPRIT (Vernadat, 1996). L'avantage de cette méthodologie, extrêmement précise dans son pouvoir de représentation, est qu'elle permet de modéliser des grands systèmes complexes, tels que les architectures industrielles (Vernadat, 1996).

Principalement définie pour les systèmes intégrés de production, CIMOSA permet de modéliser n'importe quelle entreprise grâce à l'intégration des différentes vues selon une méthode unique.

Il existe différentes méthodes de modélisation qui sont adaptées suivant le contexte dans lequel on effectue la modélisation. Pour cela, CIMOSA propose différentes vues regroupées dans l'axe de généralisation :

- La vue fonctionnelle : elle décrit les fonctionnalités, les structures de contrôle et le comportement de l'entreprise.
- La vue informationnelle : elle regroupe l'information nécessaire à chaque fonction, pour répondre aux besoins des utilisateurs et des applications.
- La vue ressource : elle spécifie et décrit les composants requis et implantés dans le système de production.
- La vue organisation : elle définit les responsabilités individuelles et l'organisation de l'entreprise.

Pour faciliter la modélisation, CIMOSA propose de recourir à des modèles génériques qui sont ensuite instanciés. C'est l'axe d'instanciation qui regroupe trois niveaux :

- Le niveau générique : il s'agit de définir les concepts du langage de modélisation

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

- Le niveau partiel : il contient les modèles partiels, c'est-à-dire les structures prédéfinies et réutilisables pour un domaine d'application particulier
- Le niveau particulier : il correspond aux modèles spécifiques de l'entreprise.

Enfin, la conduite de projet est prise en compte via l'axe de dérivation qui spécifie trois phases :

- L'expression des besoins définie à travers un modèle utilisateur
- La spécification de conception construite autour d'un modèle d'entreprise
- La description de l'implantation fournie par un modèle exécutable.

Ce cadre de modélisation peut donc être défini comme un cube intégrant les trois dimensions (Figure 3.4).

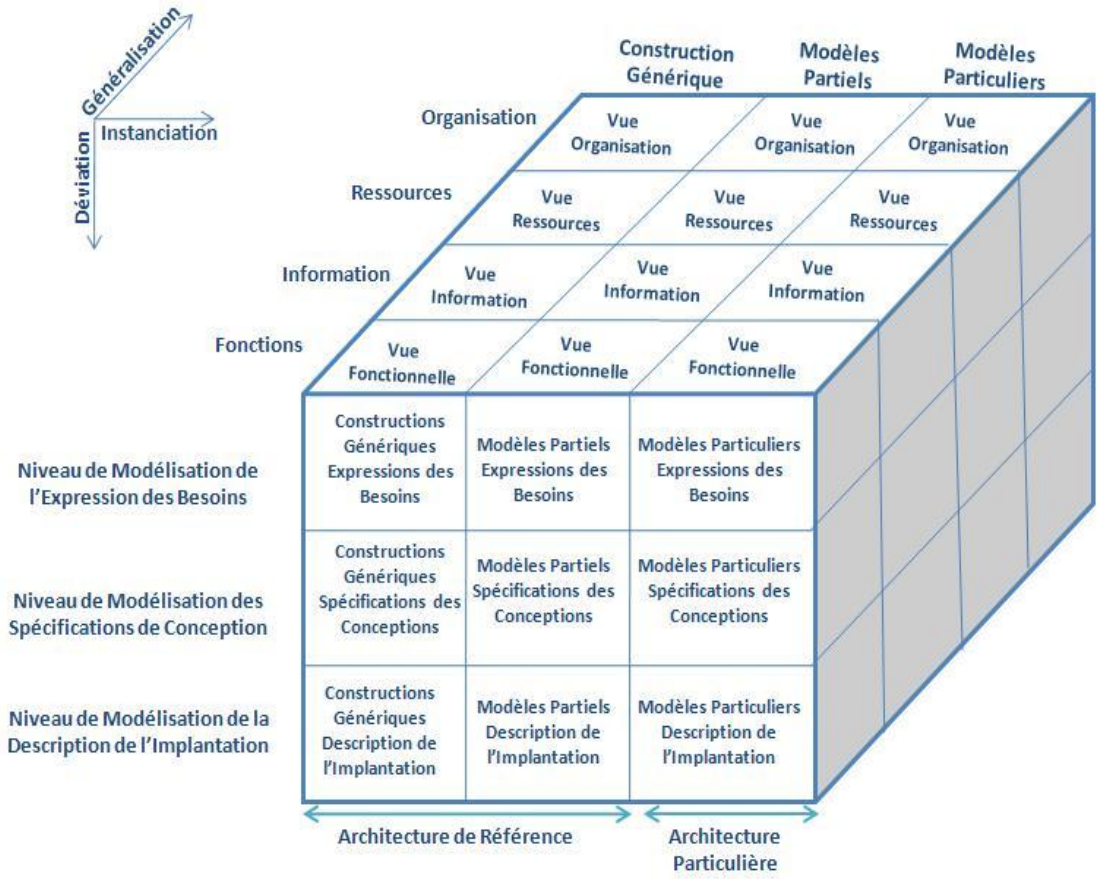


Figure 3.4. Cadre de Modélisation CIMOSA (Vernadat, 1996)

De manière à réduire la complexité du modèle global, CIMOSA définit l'entreprise sous forme de domaines. Ceci conduit donc à définir (récursivement) plusieurs modèles. Un domaine regroupe des processus maitres (Processus du Domaine) composés de processus métier et d'activités d'entreprise, comme illustré dans Figure 3.5.

Les processus sont déclenchés par des évènements, exécutent un ensemble d'activités (organisées comme des graphes ou réseaux) et échangent entre eux des vues d'objets (objets

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

physiques ou entités d'information). Ainsi, l'exécution d'un processus conduit à trois types de flux :

- Les flux de contrôle : évènements ou règles procédurales
- Les flux informationnels : flux de données regroupant des vues d'objets informationnels
- Les flux matière regroupant les vues d'objets physiques, les objets matériels.

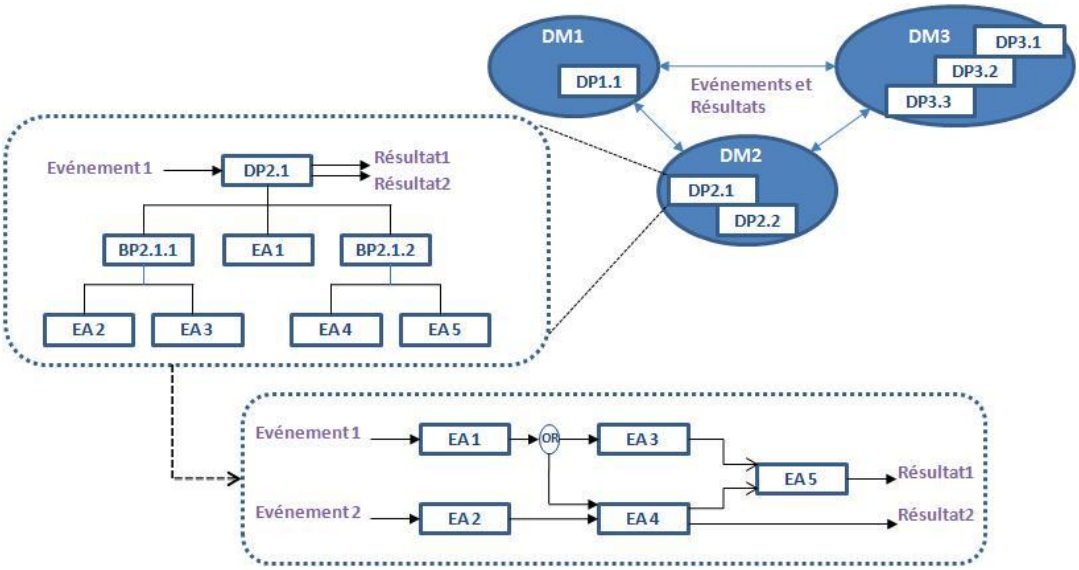


Figure 3.5. Représentation des Domaines et Processus Maîtres

De manière à permettre la mise en œuvre de la solution modélisée, l'infrastructure d'intégration, illustrée dans la Figure 3.6, fournit un ensemble générique de services, pour des environnements hétérogènes caractérisant le contexte industriel.

Cette architecture se comporte comme un système d'exploitation contrôlant le traitement traditionnel des données et l'utilisation des ressources du système. Elle se compose de cinq unités (Vernadat, 1996) :

- L'entité d'exécution (Business Entity) contrôle l'exécution du modèle d'implantation particulier, en créant des occurrences des processus maîtres et une hiérarchie des occurrences. Elle analyseensuite le modèle et affecte les ressources informatiques et manufacturières.
- L'entité de présentation (Presentation Entity) assure l'interfaçage entre les ressources (humaines, machines et applicatives) et les autres entités.
- L'entité d'information (Information Entity) assure la gestion des informations de l'entreprise, des bases de données, des accès aux données…
- L'entité des services communs (Common Entity) fournit les services communs aux autres entités comme l'échange des messages entre les services, la gestion des réseaux de transport des données, les autorisations, la sécurité…

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

- L'entité de gestion du système (System Management Entity) gère les outils informatiques de l'entreprise, la distribution et l'installation des mises à jour, les configurations, le lancement et l'arrêt des systèmes, la gestion des erreurs…

CIMOSA définit différentes vues de l'organisation. Les quatre vues de l'axe générique (fonction, information, ressource et organisation) permettent de regrouper les vues de l'organisation du SI de l'entreprise en sa totalité. En outre, l'infrastructure de CIMOSA nous permet de traiter les aspects hétérogènes des environnements industriels (traitement des données, ressources humaines et matérielles…).

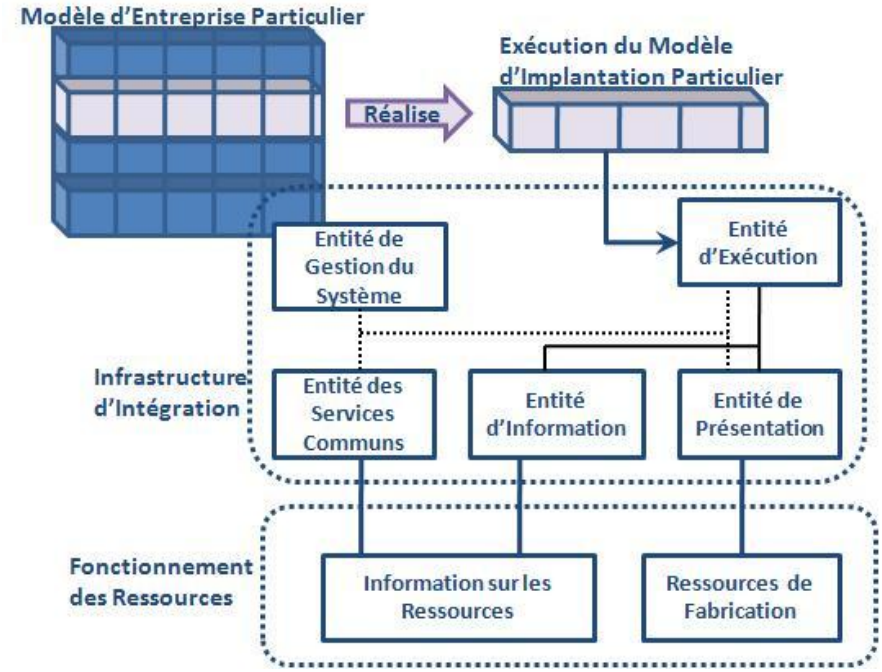


Figure 3.6. Infrastructure d'Intégration CIMOSA

Grâce à la décomposition en domaines, il est possible de réduire la complexité de chaque modèle. CIMOSA permet donc de modéliser des architectures industrielles complexes et d'obtenir un système unifié. Ceci veut dire que l'interdépendance des sous-systèmes qui le compose est complètement transparente pour les utilisateurs à tous les niveaux.

En revanche, CIMOSA ne permet pas d'identifier les sources de gaspillage au niveau des fonctions support au SI de l'entreprise, ce qui constitue une limite à son utilisation dans le contexte Lean.

3.3.4 Cadre Fédérateur GERAM (Generalized Enterprise Reference Architecture and Methodology)

Comme nous l'avons vu, les différentes méthodes permettent d'aborder la modélisation d'entreprise en se focalisant sur certains aspects (ressource humaine pour PERA, décision pour GRAI…). Il est donc nécessaire de les utiliser de manière plus complémentaire.

GERAM représente une architecture de référence développée au sein du groupe IFAC/IFIP réflexion sur les architectures pour l'intégration des entreprises (IFIP - IFAC Task Force, 1999).

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

GERAM peut être vue comme une généralisation de CIMOSA, GRAI-GIM, PERA… ayant pour objectif la définition et l'évaluation des architectures de référence d'entreprises (Bernus & Nemes, 1997). Chacune des méthodes de modélisation d'entreprise apporte une spécificité particulière et atteint un objectif précis. L'objectif de GERAM permet d'appréhender l'entreprise dans sa globalité en se basant sur les points de vue de chacune des méthodes. Elle permet, non seulement, d'unifier les méthodes appartenant à plusieurs disciplines, à savoir le management, la communication… mais aussi d'unifier deux approches distinctes de l'intégration d'entreprises, l'une étant fondée sur le « modèle produit », l'autre sur la « modélisation des processus métier ». Chaque entité modélisée par GERAM (y compris l'entreprise) possède un cycle de vie en sept phases, comme l'illustre la Figure 3.7 :

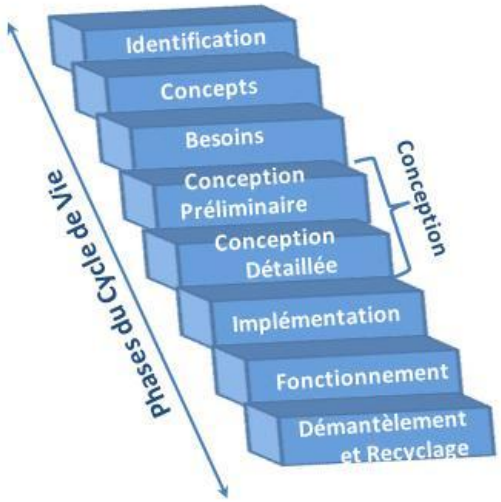


Figure 3.7. Cycle de Vie GERAM pour une Entreprise

- Identification du contenu : elle regroupe les activités d'une entité en considérant ses limites et ses relations avec son environnement interne et externe.
- Définition des concepts de l'entité : elle regroupe les activités nécessaires pour développer les concepts de l'entité traitée.
- Définition des besoins : elle définit les besoins opérationnels de l'entité, ses processus ainsi que tous ses besoins fonctionnels, comportementaux, informationnels.
- Conception : elle représente les activités définissant les spécifications de l'entité ainsi que ses composants.
- Implémentation : elle regroupe les activités définissant toutes les tâches devant être accomplies pour construire ou reconstruire l'entité.
- Fonctionnement de l'entité : elle définit les activités nécessaires à l'entité durant son fonctionnement, pour la fabrication d'un produit ou un service.
- Démantèlement et recyclage de l'entité : elle regroupe les activités nécessaires pour réaffecter les composants de l'entité en fin de vie à une autre mission, les recycler, les transférer…

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

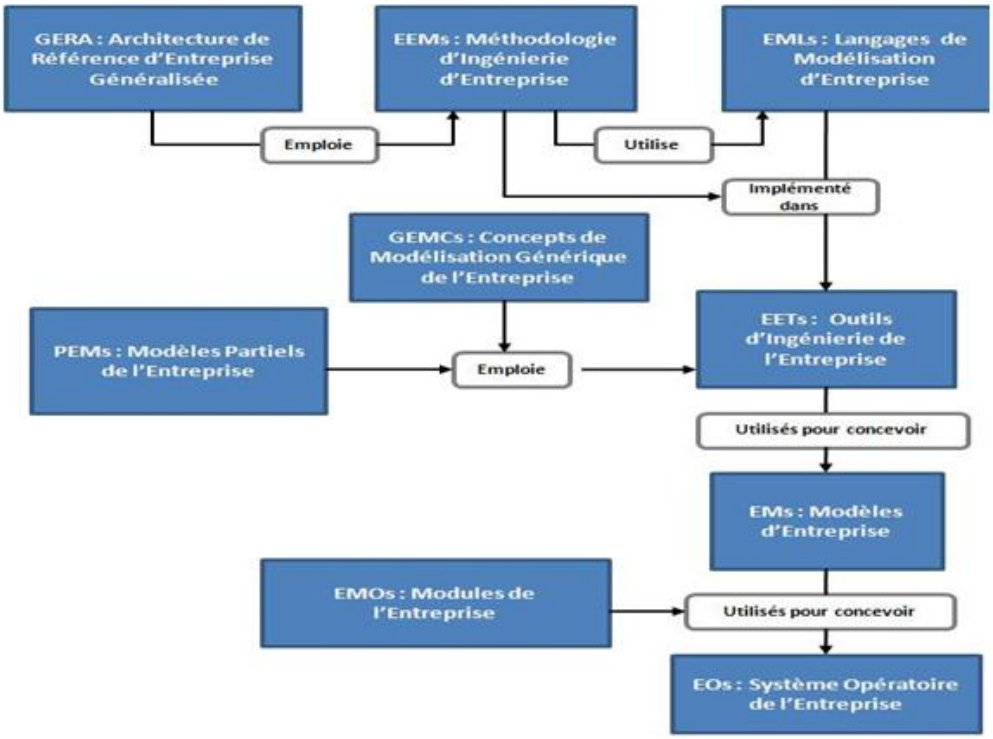


Figure 3.8. Éléments Méthodologiques de GERAM (IFIP - IFAC Task Force, 1999)

GERAM possède huit composants fonctionnels dont les interactions sont présentées dans la Figure 3.8 :

- GERA (Generic Enterprise Reference Architecture) identifie les concepts de l'intégration d'entreprise.
- EEMs (Enterprise Engineering Methodologies) décrit le processus d'ingénierie d'entreprise. Pour chaque type d'activité, EEMs décrit les évolutions, identifient les tâches et les outils permettant ce changement.
- EMLs (Enterprise Modeling Language) fournit des modèles pour la modélisation des rôles humains, des processus et des technologies support.
- EMs (Enterprise Models) représente le fonctionnement complet de l'entreprise. EMs contient des descriptions, des conceptions ainsi que les modèles formels de l'entreprise représentant l'ensemble de ses activités, son organisation, sa gestion et ses systèmes de pilotage et d'information.
- EETs (Enterprise Engineering Tools) est un ensemble d'outils d'ingénierie de l'entreprise. Ces outils représentent un support pour la création et l'utilisation des modèles d'entreprise.
- GEMCs (Generic Enterprise Modeling Concepts) définit la signification des cadres de modélisation de l'entreprise. GEMCs assure la sémantique des langages de modélisation.
- PEMs (PartialEnterprise Model) fournit des modèles de référence réutilisables.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

- EMOs (Enterprise MOdules) qui représentent des composants matériels ou logiciels nécessaires pour l'implémentation du système opératoire.

3.3.5 Conclusion sur les Méthodes et Méthodologies de Modélisation d'Entreprise

Les méthodes GRAI, GIM et PERA s'appuient principalement sur les aspects informationnels, fonctionnels, décisionnels et organisationnels. GRAI est une méthode de modélisation et d'analyse des activités de l'entreprise mettant l'accent sur l'aspect décisionnel mais qui ne décrit pas un processus en sa totalité. GIM tient compte de l'aspect opérationnel mais ne tient pas compte des flux matériels dans un processus physique. Enfin, PERA décrit les aspects fonctionnels et organisationnels d'une entreprise mais ne définit pas l'organisation de ses processus. Par conséquent, ces méthodes de modélisation présentent une rigidité importante qui s'oppose à toute demande de changement.

CIMOSA intègre différentes vues de l'organisation. La notion de domaines, est intéressante dans la mesure où il est possible de modéliser, à travers ces domaines, toute sorte d'entité fonctionnelle complexe telle qu'une entreprise étendue. CIMOSA regroupe un ensemble de sous-systèmes interdépendants et de manière transparente pour tous les utilisateurs et à tous les niveaux ce qui attribue une certaine flexibilité dans la modélisation de toutes les contraintes d'un système de production. Les ressources matérielles sont bien prises en compte, avec l'organisation des responsabilités et des rôles, ce qui permet de définir la capacité de production.

GERAM est un ensemble de méthodes, de modèles et d'outils nécessaires à la construction d'une entreprise intégrée fondée sur les méthodologies CIMOSA, PERA, GRAI et GIM. C'est pourquoi, le cadre fédérateur GERAM propose un bon niveau de précision. Il offre une solution intermédiaire en présentant les grandes lignes d'une architecture d'intégration proposant de prendre compte des différents systèmes et de les interfacer. C'est un cadre de modélisation fédéré très complet, toutefois, son utilisation peut s'avérer assez difficile.

3.4 Méthodes de Modélisation Informatiques

Les activités de type support (ou de soutien) de la chaîne de la valeur de l'entreprise ne participent pas directement à la fabrication d'un produit mais fournissent des services aux activités principales afin de permettre de faciliter leur fonctionnement tout au long du processus de fabrication. Il s'agit de l'infrastructure de la firme, des ressources humaines, de l'approvisionnement et du développement technologique. Cette dernière activité support représente l'ensemble des technologies dont les activités informatiques qui participent au processus de production. Compte tenu de la spécificité de la dimension information, plusieurs méthodes de modélisation ont été proposées. Nous allons décrire quelques-unes reflétant l'évolution chronologique de ce domaine de modélisation.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

3.4.1 SADT (Structured Analysis and Design Technique) et SART (Structured Analysis-Real Time)

La méthode de modélisation SADT, proposée par Ross (Ross, 1977), permet une analyse structurée du système et a abordé la modélisation via la représentation graphique des activités et des chaînes d'activités. Elle introduit le principe de décomposition fonctionnelle permettant de représenter une succession d'activités d'une entité d'entreprise (une entité fait référence à une usine, un atelier, un îlot de production, une machine…). Cette méthode décrit les activités de l'entreprise sous forme d'actigrammes et leur associe des datagrammes pour représenter les flux d'information manipulés par chaque activité de l'entreprise.

Le système est modélisé graphiquement à travers un bloc fonctionnel représenté par un rectangle à l'intérieur duquel est mentionnée la fonction globale. Sur ce bloc sont représentés, comme l'illustre la Figure 3.9 :

- Les entrées de matières
- Les données de contrôle
- La sortie de matière dotée d'une valeur ajoutée
- Les sorties secondaires tels que les flux d'informations associés aux processus, sous-produits ou déchets.
- Les supports faisant référence à des éléments matériels.

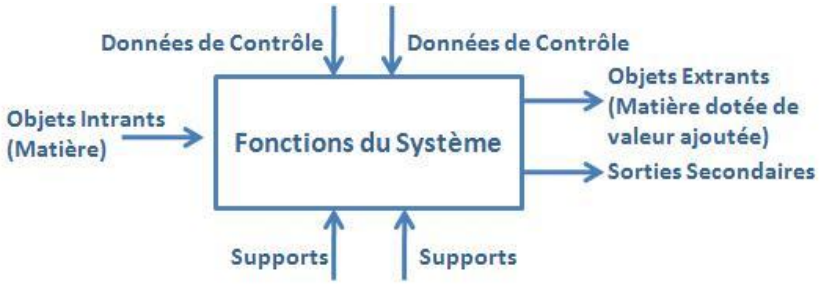


Figure 3.9. Bloc Fonctionnel selon SADT

Cette méthode se base sur une analyse descendante et modulaire des fonctions de base de l'entreprise et se focalise sur les activités et l'information associée à chaque activité. Cette vision essentiellement statique ne permet pas la description de la dynamique du système en temps réel.

Pour modéliser la dynamique de l'entreprise, la méthode SA-RT, a vu le jour, pour répondre aux limites de SADT (Ward & Mellor, 1985) et (Hatley & Pirbhai, 1986). Cette méthode prend en compte l'aspect temps réel pour intégrer des contraintes de temps dans la modélisation. SART définit un modèle de système et un modèle de processus statique et met, également l'accent sur le contrôle dynamique du système, à partir d'un modèle.

SART représente les flux (continus, discrets ou de contrôle), les processus de transformation (tant pour les données que pour le contrôle), les unités de stockage des données… Cette méthode traite des aspects fonctionnels et du temps réel ce qui est intéressant, dans la modélisation du

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

système de production. En revanche, SART ne traite que les processus de transformation des données et ne prend pas en compte les flux physiques. S'il est intéressant de connaître les grands blocs fonctionnels de l'organisation et leurs besoins en termes d'information, les activités et information ne sont pas toujours suffisantes pour modéliser une entreprise dans sa globalité. En effet, il manque, la prise en compte des ressources physiques et des flux matériels ce qui est une limite dans la mise en œuvre d'une démarche Lean.

3.4.2 IDEF (Integration Definition)

Cette méthodologie a été développée par l'ICAM (Integrated Computer Aided Manufacturing) dans le but d'analyser et de représenter les différents aspects d'un système. Comme GERAM, ce cadre méthodologique fédère six modèles dissociés (Menzel & Mayer, 1998) :

- IDEF0 (SADT) : décrit les aspects fonctionnels et organisationnels de l'entreprise. Elle modélise les décisions, les actions et les activités d'un système.
- IDEF1 : est conçue pour modéliser l'aspect informationnel et fonctionnel. Elle modélise les données et les composants des systèmes automatisés ou non. Elle représente les informations et leurs règles de gouvernance.
- IDEF1x : modélise le comportement du système en analysant les aspects dynamiques de l'entreprise. Elle supporte les concepts de généralisation / spécification.
- IDEF3 : modélise, principalement, les séquences d'activités ou de processus et donc leur enchaînement ainsi que les aspects temporels. Elle propose deux vues, une vue centrée processus et une vue centrée état d'objet. L'état d'objet représente les conditions d'entrée / sortie sous forme de liste de propriétés associées à des valeurs.
- IDEF4 : introduit la modélisation orientée objet dans IDEF. Elle regroupe deux sous-modèles, à savoir les classes et les méthodes.
- IDEF5 : décrit les ontologies et fournit une description théorique et empirique pour créer, maintenir et modifier les ontologies.

Bien qu'IDEF représente les aspects du comportement de l'entreprise, elle n'est pas vraiment adaptée pour intégrer les aspects temps réel dans la dynamique d'un système manufacturier. En outre, si elle permet de décrire les ressources humaines de l'entreprise, elle ne prend pas compte les ressources matérielles, la notion de rôle ni la définition de la responsabilité.

3.4.3 UML& UEML (Unified Enterprise Modeling Language)

UML (Unified Modeling Language) est un langage de modélisation orienté objet pseudo-formel dont les structures linguistiques ont été standardisées par le groupe OMG (Object Management Group). La méthode UML orientée objet est, à l'instar de Merise, adaptée à l'analyse et à la conception des SI (Trilling, Besombes, Chaabane, & Guinet, 2004). UML permet de représenter plusieurs vues complémentaires d'un système, avec plusieurs niveaux d'abstraction. Il existe trois points de vue principaux :

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

- Les cas d'utilisation (use case), modèles permettant de représenter le fonctionnement du système dans son environnement extérieur, vis-à-vis de l'utilisateur
- La vue statique, modèles représentant le système physiquement (description des éléments et de leurs relations)
- La vue dynamique, modèles montrant le comportement du système, à partir de diagrammes d'état transition, d'activité et de collaboration.

UML est utilisé comme un langage de description d'objet pour le développement de la méthode UEML. Les initiatives autour d'UEML (Unified Enterprise Modelling Language) se dirigent vers le domaine de l'ingénierie et de l'intégration de l'entreprise (Petit, Goossenaerts, Gruninger, Nell, & Vernadat, 1997). Il s'agit d'un langage pivot de haut niveau capable d'interpréter et d'échanger des informations, des données et des connaissances (Vallespir, et al., 2003). Le constat d'UEML est de combiner les différents langages de base dans le but de créer plusieurs vues d'un même modèle (CIMOSA, GRAI/GIM, etc.). Ce processus de rapprochement permet d'unifier les différentes approches dans le méta-modèle d'UEML et de son ontologie associée, illustré dans la Figure 3.10.

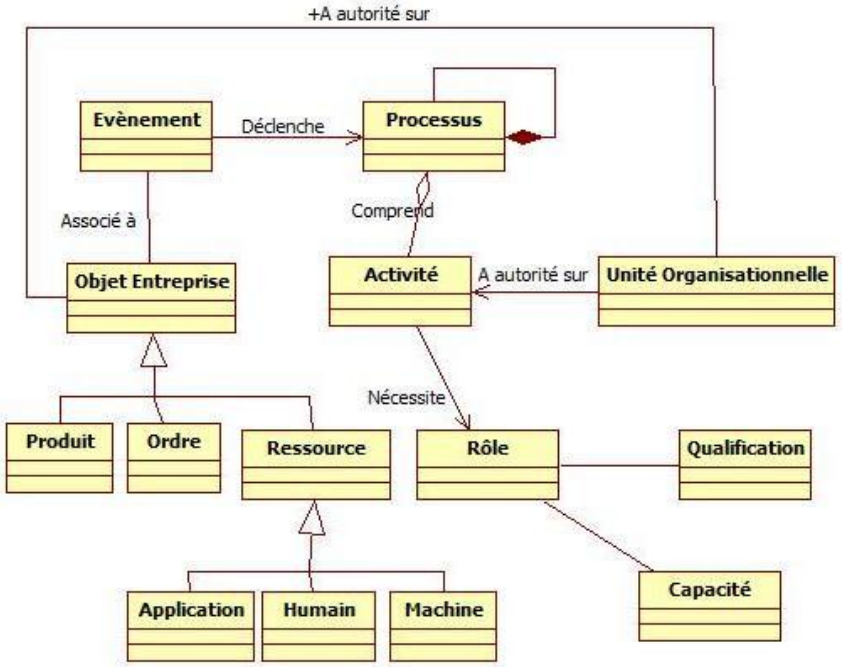


Figure 3.10. Méta-Modèle UEML (Chaari, 2008)

UEML est construit sur la compréhension de la modélisation d'entreprise et tient compte d'un ensemble de principes (Vernadat, 2002)

- La distinction entre les processus et les ressources
- La distinction entre le comportement (comment faire) et les fonctionnalités (ce qui peut être fait) de l'entreprise. Cette séparation donne au modèle une plus grande flexibilité.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

- La distinction entre les ressources et les unités organisationnelles : les unités organisationnelles étant des unités décisionnelles, et les ressources étant responsables de l'exécution des décisions.

UEML contribue clairement à définir une sémantique commune des formalismes des différentes méthodes et à délimiter le domaine de modélisation et de l'ingénierie de l'entreprise. En effet, cette méthode assure une meilleure interopérabilité entre les acteurs de la modélisation et, donc, une définition distincte du corpus scientifique de la modélisation et de l'ingénierie de l'entreprise. UEML présente, par conséquent, un vocabulaire accepté et utilisé par les organismes de normalisation à tous les niveaux (Vallespir, et al., 2003).

3.4.4 Conclusion sur les Méthodes Informatiques de Modélisation

Les méthodes de modélisation informatiques représentent plutôt des démarches de réingénierie par secteur :

- SADT est adaptée aux fonctions de base de l'entreprise
- SART prend en compte la contrainte temps réel dans la modélisation du système
- IDEF représente le comportement de l'entreprise à travers une description des processus
- UEML définit une ingénierie qui distingue entre le comportement et les fonctionnalités de l'entreprise.

Les méthodes informatiques de modélisation définissent l'aspect informatique des activités de type support du SI. Cependant, elles ne tiennent pas comptes des activités principales et étendue de la chaîne de la valeur. Par conséquent, ces méthodes ne fournissent pas une modélisation complète pour une entreprise Lean.

3.5 Méthodologie de Modélisation Orientée Processus : ARIS

ARIS est un cadre de modélisation générique pour la modélisation des processus d'entreprise (Scheer, 1993, Scheer, Galler, & Kruse, 1994, Scheer, 2002). Il représente le cycle de vie d'un système, à savoir l'analyse, la conception et l'implémentation. Tout comme CIMOSA, cette méthode représente une architecture de conception mais elle est plus liée à l'aspect informationnel et au métier de l'entreprise qu'aux systèmes CIM (Computer Manufacturing Integrated).

La méthode ARIS permet de décrire les structures des différents processus métier de l'entreprise, d'établir les liens entre les différents acteurs participant dans l'accomplissement du processus et de représenter les interactions entre les processus. Outre l'organisation de l'entreprise en termes de ressources, ARIS traite les aspects fonctionnels et de contrôle. ARIS repose sur une approche multi-niveaux et multi-vues différant un peu de CIMOSA (Darras, 2004), comme l'illustre la Figure 3.11.

L'architecture ARIS est structurée selon quatre vues :

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

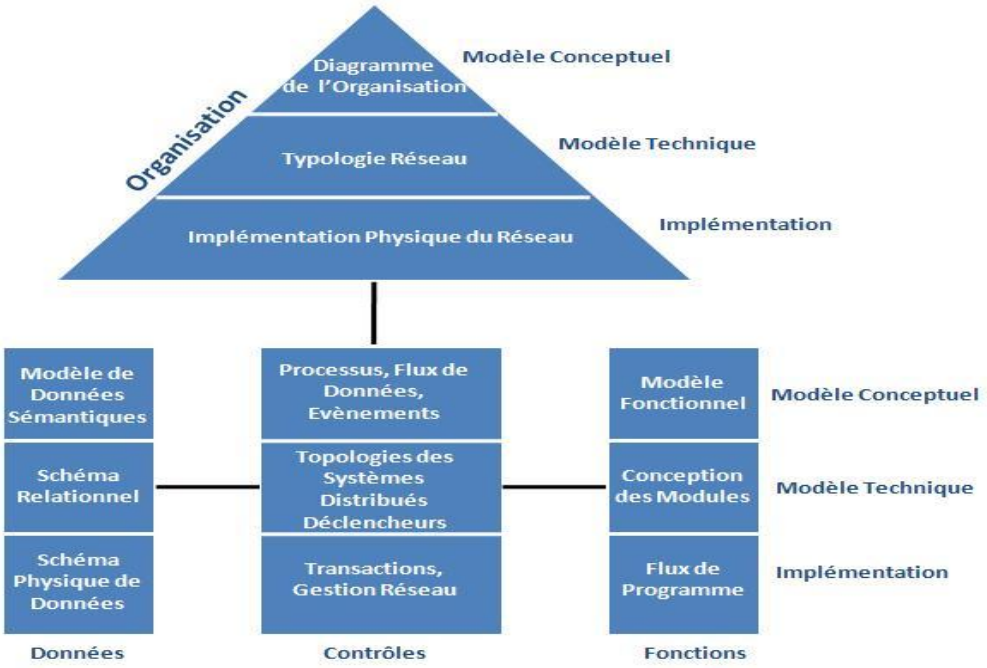


Figure 3.11. Architecture ARIS (Scheer, 1992).

- Une vue fonctionnelle
- Une vue de contrôle (elle correspond à l'aspect « organisation » de CIMOSA)
- Une vue information
- Une vue organisation (elle correspond à l'aspect « ressources » de CIMOSA)

Ces vues sont décomposées suivant les trois niveaux de modélisation de CIMOSA :

- Le modèle conceptuel
- Le modèle technique
- L'implémentation

ARIS permet la réingénierie du système d'information selon une stratégie basée sur la modélisation des processus par un diagramme de chaîne de processus (PCD – Process Chain Diagram) (Darras, 2004). Un moteur de simulation permet de simuler les processus décrits. Cet outil est plutôt orienté génie logiciel que modélisation d'entreprise.

En effet, même si ARIS parait très semblable à l'architecture intégrée de CIMOSA, elle se base sur des méthodes traditionnelles orientées métier pour représenter le planning de production, les inventaires de contrôle… au lieu de se focaliser sur les systèmes CIM (Computer Integrated Manufacturing). Elle traite plutôt de l'ingénierie des logiciels et les aspects organisationnels de la conception des systèmes intégrés dans l'entreprise.

Si dans notre travail la vision processus métier d'ARIS cadre bien avec la prise en compte de la chaîne de la valeur et permet de définir des processus collaboratifs, en revanche l'absence de structuration d'une vision « production » et des flux associés limite les possibilités de réorganisation selon une stratégie en tirés. Cette vision « métier » devra donc être enrichie.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

3.5.1 Approche Processus

Les processus regroupent les activités principales et externalisées de la chaîne de valeur qui participent aux phases de fabrication du produit depuis la matière première jusqu'à la livraison au client. La notion de processus est assez générale et est associée à différentes définitions comme « *toute activité ou ensemble d'activités qui saisit un intrant en lui ajoutant de la valeur, le transforme et fournit un extrant pour un client interne ou externe. Les processus utilisent les ressources organisationnelles dans la transformation qu'ils effectuent* » (Harrington, 1991) ou celle tirée de (Vernadat, 1999, pp. 22) : « *un processus métier est une succession de tâches selon un ordre partiel qui contribue à la réalisation des objectifs d'une entreprise. D'une façon générale, un processus peut être défini comme un enchaînement d'activités qui seront exécutées pour atteindre un but prédéfini. Cet enchaînement forme le flux de contrôle du processus, c'est-à-dire sa logique d'exécution* ».Un processus est, donc, un sous-ensemble d'actions et d'échanges liés à un but de l'entreprise, avec un début et une fin, comme l'illustre la Figure 3.12.

Un processus est défini par des activités (sous-ensemble d'actions) et des transitions. L'utilisation des processus dans la modélisation du métier facilite le pilotage stratégique et financier : chaque processus porte une part de la chaîne de valeur de l'entreprise, participe à la stratégie et facilite le pilotage opérationnel.

Enfin, la modélisation par processus assure une flexibilité qui permet une recomposition des tâches élémentaires et permet d'identifier les rôles, les activités et les enchaînements de leurs logiques. Le périmètre d'un processus est lié à l'analyse de la valeur, c'est pourquoi l'analyse des processus part de la chaîne de valeur de l'entreprise et de sa carte stratégique (Caseau, 2006).

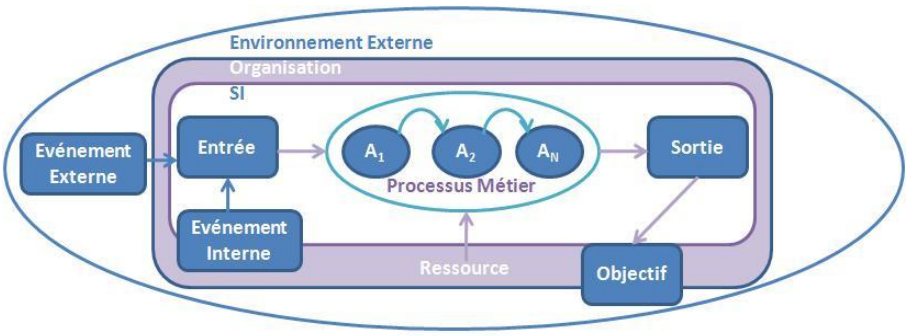


Figure 3.12. Processus Métier

Dans ce qui suit, nous allons définir les processus métier, collaboratifs et exécutables avant de présenter leur gestion et modélisation.

3.5.2 Définitions

Un processus est défini par des activités (ensemble d'actions) et des transitions entre ces activités (Caseau, 2006), ce qui permet d'échanger de l'information entre participants. Les participants sont des applications, des services du SI, des acteurs humains ou d'autres processus métier. Le terme « processus métier » est souvent employé dans des projets de nature très différente. Un processus métier peut contribuer à l'établissement d'un mode de gestion de l'entreprise orientée

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

client (on parle, dans ce cas, de pilotage par les processus ou chaîne de valeur de l'entreprise). Il peut aussi contribuer à l'établissement de procédures de contrôle du fonctionnement de l'organisation ou participer à l'assemblage des ressources informatiques selon une logique processus (Lonjon, 2004).

Un processus métier peut être interne à une entreprise, ou mettre en jeu des entreprises partenaires. Dans ce cas, nous parlerons de processus collaboratifs. Un processus collaboratif. Il inclut n partenaires et est composé de différentes parties : une interface et n implémentations. L'interface définit la partie visible du processus, est associée au contrat entre les partenaires et regroupe la définition des documents métier, l'agencement des activités, les rôles et les responsabilités de chaque partenaire. Si l'interface est commune en revanche, l'implémentation est spécifique à chaque partenaire : elle définit le comportement interne de chaque partenaire pour réaliser le processus et respecter les contraintes définies dans l'interface publique.

Enfin, le processus exécutable peut orchestrer des applications ou des services du SI, ainsi que des actions utilisateurs pour automatiser une tâche ou simplement représenter l'automatisation d'une transmission d'information entre acteurs à partir d'une approche de workflow où les actions sont effectuées manuellement par les acteurs associés à ce worflow.

3.5.3 Gestion des Processus Métier

La modélisation des processus métier de l'entreprise permet de représenter sa structure et son fonctionnement, afin de comprendre le système et faciliter la communication entre les acteurs, d'évaluer les performances ou encore d'analyser un disfonctionnement. La modélisation des processus est au cœur des approches de Business Process Reengineering (BPR), de Business Process Management (BPM) ou de Business Activity Monitoring (BAM) (Bouchiba & Cherkaoui, 2007).

Deux grandes catégories de méthodologies de modélisation de processus métier sont proposées :

- les méthodologies orientées conception des processus – Business Process Analysis – BPA
- les méthodologies orientées exécution des processus – Business Process Management – BPM.

L'enjeu du Business Process Management est de définir les processus de l'entreprise au niveau métier, en faisant intervenir les utilisateurs et les applications de l'entreprise impliqués dans l'exécution des processus. Le BPM capitalise les applications du système d'information dans un objectif de réutilisabilité et intervient ainsi sur le niveau technique et sur le niveau métier :

- Le niveau métier spécifie les principales étapes du processus et impacte l'organisation de l'entreprise. Il regroupe les règles métier qui conditionnent le déroulement du processus et représentent les interactions entre les participants fonctionnels.
- Le niveau technique définit les liens entre les activités et les participants fonctionnels du processus, les applications et les services du système d'information, ainsi que les tâches utilisateurs ou workflow (Crusson, 2003). Les workflows représentent les applications et

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

les services du SI appelés selon un ordre défini pour accomplir les activités participant au processus en question.

Le BPM utilise des outils qui se basent sur des standards pour la modélisation et l'exécution des processus, comme l'illustre la Tableau 3.1. Standards BPM pour définir la connectivité des applications. La description de ces standards fait l'objet des sections suivantes.

Modélisation	Exécution	Requêtage
BPMN	BPEL	BPQL

Tableau 3.1. Standards BPM (Rivard, Brendel, Buche, Delayre, Mocaër, & Nevers, 2005)

3.5.4 Modélisation des Processus et BPMN

La notation graphique BPMN est commune à tous les outils de modélisation. Cette notation graphique, dont le concept est illustré dans la Figure 3.13 décrit la modélisation métier et présente des informations techniques afin de rendre les processus exécutables. BPMN fournit une notation graphique complète permettant de représenter un processus métier, en séparant les informations métier des informations techniques. Il repose sur la création des diagrammes BPD – Business Process Diagrams – dans lequel figurent plusieurs types de composants, à savoir les objets, les évènements, les flux, les activités… (Erl, 2004).

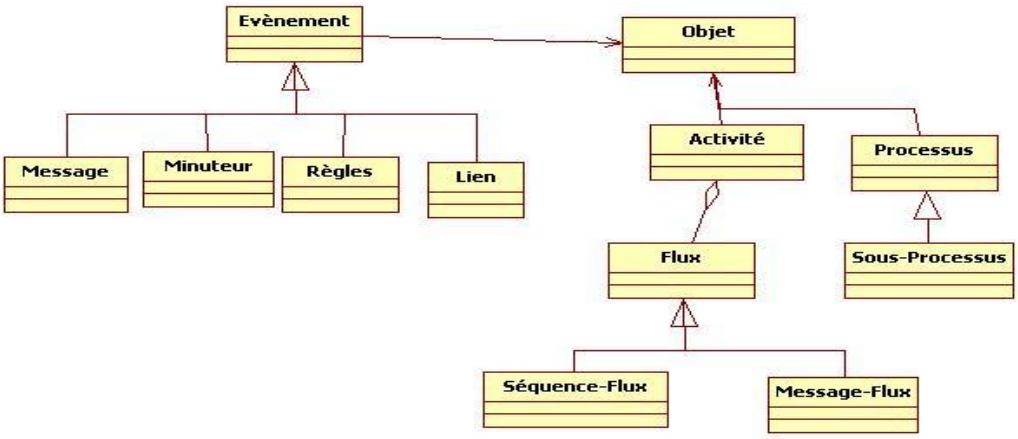


Figure 3.13. Aperçu de la Modélisation avec BPMN[2]

Le standard BPMN fournit une modélisation complète et un mapping complet vers les langages d'exécution. Une fois les processus modélisés et les informations techniques renseignées, il est possible de générer automatiquement le processus exécutable en BPEL – Business Process Execution Language (Crusson, 2003).

[2] http://www.bpmi.org

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

3.5.5 Exécution des Processus

Pour garantir la portabilité des processus réalisés sur différentes plateformes, il faut recourir à un langage permettant la description et l'exécution des différents éléments qui seront mis en œuvre. Le premier langage proposé à des fins d'exécution était le BPML – Business Process Modeling Language. Ce langage a été ensuite adapté et renommé BPEL ou encore BPEL4WS – Business Process Execution Language For Web Services. BPEL ne se limite pas à l'orchestration des services web. Un processus BPEL définit, en XML, les activités réalisées dans le cadre de l'exécution du processus métier et les informations d'ordre technique sont décrites (Crusson, 2003). C'est la représentation XML d'un processus exécutable.

L'activité est l'élément atomique d'un processus BPEL. Elle peut être associée à l'envoi ou la réception d'un message, l'appel d'une opération, ou la transformation d'une donnée. Le langage BPEL permet l'organisation des activités, la gestion des erreurs, la gestion des transactions et l'organisation des processus en sous processus. Le langage BPQL (Business Process Query Language) a pour vocation l'interrogation des documents XML dédiés aux processus et à leur supervision. C'est le moyen privilégié par lequel il est possible de connaître à tout instant l'état d'avancement ou le résultat d'exécution d'une instance de processus. Ce langage peut jouer un rôle primordial dans la supervision de l'activité métier (BAM – Business Activity Monitoring) en temps réel ou non (Erl, 2004).

Pour assurer la connectivité vers les applications existantes, le BPM propose d'utiliser la technologie des web services. Cette technologie fait abstraction des détails d'implémentation. En effet, un service est décrit dans une interface standard à travers le WSDL (Web Service Definition Language). L'interface d'un service est publiée dans un annuaire de services UDDI (Universal Description, Discovery and Integration) (Erl, 2004). Les échanges de services sont assurés par le protocole SOAP (Simple Object Access Protocol). Pour assurer la mutation du SI dans une logique d'architecture à base de service, il convient, d'abord, de cartographier les différents services de l'entreprise, en s'appuyant sur le concept de réutilisabilité, de modéliser l'organisation des services de façon à parvenir à une exécution des services composant les processus selon le modèle d'orchestration défini par BPEL, comme l'illustre la Figure 3.14.

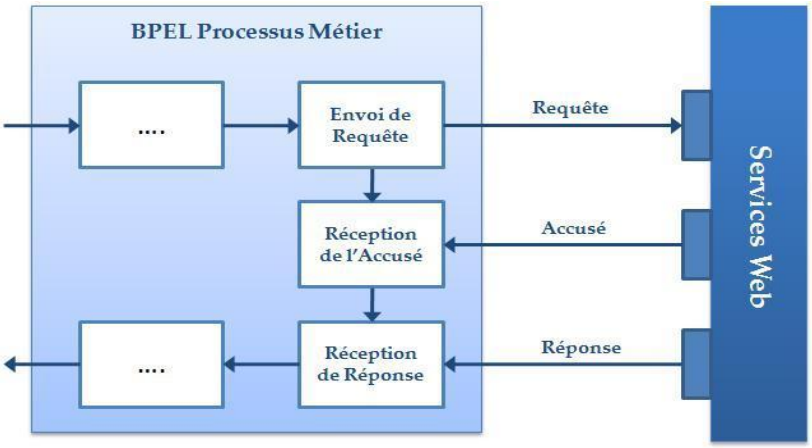


Figure 3.14. Appel des Services Web avec BPEL

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

3.6 Bilan des méthodes de modélisation

Pour supporter la réorganisation de l'entreprise selon la stratégie au plus juste il faudrait disposer d'une méthode de modélisation :

- Agile, pour permettre d'adapter ces réorganisations directement en fonction des demandes,
- Permettant de modéliser à la fois les flux de production et les flux informationnels pour intégrer la valorisation apportée par les tâches liées au SI et permettre de mieux aligner le SI sur la dimension métier
- Prenant en compte les ressources de production pour prendre en compte les contraintes de production en flux tiré dès la conception.

Toutes les méthodes que nous avons présentées reposent sur une stratégie de modélisation top-down. Cette stratégie ne permet pas de réagir directement aux changements de contexte (puisqu'il faut re-dérouler l'ensemble de l'activité de modélisation). Ces méthodes ne permettent donc pas de répondre directement au critère d'agilité. Néanmoins, pour faciliter l'activité de modélisation (et donc limiter le temps nécessaire pour mener à bien un projet de modélisation), la plupart des méthodes de modélisation d'entreprise intègre des modèles génériques qu'il est possible d'instancier. Toutefois, la prise en compte de ces modèles de type « best practices » conduit souvent à aligner l'organisation métier de l'entreprise sur de pseudo-standards, ce qui s'oppose à une réorganisation suivant la chaîne de la valeur au plus près.

Nous proposons dans le tableau ci-après un comparatif intégrant plusieurs critères :

- Définition de l'objectif de modélisation : ce critère permet d'évaluer la cible de l'activité de modélisation.
- Définition de la couverture : il s'agit ici de préciser l'ensemble des objets qui sont pris en compte dans l'activité de modélisation
- Et enfin une évaluation des points faibles pour l'utilisation dans une organisation Lean.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

Méthode	Objectif de modélisation	Couverture	Inconvénient dans une Organisation Lean
GRAI	Modélisation les centres de décision et les activités groupées par fonctionnalités	Système de décision, Système d'information, Système physique	Ne décrit pas un processus en sa totalité
GIM	Prise en considération de l'aspect opérationnel. Intégration du système informationnel, du système décisionnel et du système physique	Processus, Information, Décision, Opération	Ne tient pas compte des flux matériels dans un processus physique
PERA	Ingénierie du système industriel de l'entreprise : phases du cycle de vie d'une entité industrielle	Vue informationnelle (planification, ordonnancement, contrôle) et vue opérationnelle (production bien ou service)	Ne définit pas la structure fonctionnelle et organisationnelle et ne décrit pas les processus de l'entreprise.
CIMOSA	Intégration des différentes vues de l'organisation et de la notion de domaine (pour modéliser des entités complexes). Modélisation des flux de contrôle, des flux informationnels, des flux de données et des flux de matière.	Vue fonctionnelle, Vue informationnelle, Vue ressource, Vue organisation.	N'identifie pas les sources de gaspillage au niveau des fonctions support au SI de l'entreprise
GERAM	Comprendre l'entreprise dans sa globalité en se basant sur les méthodes précédentes. Cadre de modélisation fédéré très complet.	Cycle de vie en sept phases pour chaque entité modélisée + Huit composants fonctionnels pour la modélisation des différentes entités	Son utilisation peut s'avérer difficile du fait des (trop) nombreuses possibilités offertes
SADT	Analyse descendante et modulaire des fonctions de l'entreprise	Information et Activité	Ne prend pas en compte les ressources et les flux physiques

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

SART	Prise en compte de la contrainte temps réel	Information et Activité	Ne prend pas en compte les ressources et les flux physiques
IDEF	Description des processus pour modéliser le comportement de l'entreprise	Fonction, Organisation, Activité, Processus	N'est pas adaptée pour intégrer les aspects temps réel et ne prend pas en compte les ressources
UML & UEML	Ingénierie qui distingue entre le comportement et les fonctionnalités de l'entreprise	Ressource, Processus, Comportement, Fonctionnalité	Définit uniquement l'aspect informatique qui n'est pas suffisant
ARIS	Description des structures des processus métier et des liens entre les différents acteurs participant dans le processus. Représentation des interactions entre les processus	Vue fonctionnelle, Vue de contrôle (organisation de CIMOSA), Vue information et Vue organisation (ressources de CIMOSA)	Absence d'une vision « production » et des flux physique pour une réorganisation en flux tirés

3.7 Conclusion

Modéliser l'entreprise permet de comprendre son fonctionnement. C'est également une approche puissante pour réorganiser les processus et ressources dans une stratégie « au plus juste ». De nombreuses méthodes de modélisation d'entreprise ont été définies. Elles permettent d'intégrer les ressources, processus industriels, processus de décision… D'autres méthodes orientées informatique sont tout aussi structurante pour l'organisation de l'entreprise dans la mesure où les flux industriels sont systématiquement accompagnés de flux d'information. Toutefois, cette dernière famille de méthode ne permet pas d'appréhender les contraintes industrielles liées aux ressources mises en œuvre dans les processus.

Comme nous l'avons vu, la modélisation d'entreprise est une activité complexe. Si la mise à disposition de référentiels métier / modèles génériques / best practices dans les méthodes de modélisation permet de simplifier la tâche de réingénierie top-down, le recours (systématique) à ces modèles conduit très souvent à aligner l'organisation de l'entreprise sur des standard ce qui ne correspond pas à l'organisation au plus juste selon la chaîne de la valeur. En outre, la complexité de la tâche de modélisation et le délai de réalisation d'un projet de modélisation d'entreprise conduit à un manque d'agilité.

Les méthodes orientées informatique permettent de modéliser données et processus. Toutefois, en fonction du périmètre cible la tâche de modélisation du SI est tout aussi complexe que celle de

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

modélisation de l'ensemble de l'entreprise. Ceci conduit souvent à une vision des projets par « secteur métier » ou par « processus à mettre en œuvre ». Cet éclatement nuit à la vision globale et à la cohérence du SI.

Dans notre recherche, nous nous sommes particulièrement intéressés à la méthodologie CIMOSA car elle permet de définir :

- Une vision « statique » sur les ressources, le produit et l'organisation elle-même qui permet d'avoir une vision complète de l'organisation de l'entreprise
- Une vision dynamique définissant les fonctions et les informations échangées qui permet de travailler dans une logique de flux, ce qui cadre bien avec les contraintes d'organisation de chaîne de la valeur.

En outre, l'organisation en domaines et la gestion de processus maître, supportées par CIMOSA nous offre un niveau de décomposition et d'abstraction qui nous permettront de définir avec plus de facilité une composition dynamique des processus métier. Cette stratégie, basée sur les processus permet de mieux « se caler » sur une vision « chaîne de valeur ».

A partir de cette analyse, il nous semble donc intéressant de réorganiser le SI autour de ces deux visions (statique et dynamique) afin de pouvoir également intégrer la gestion des flux d'information en suivant la chaîne de la valeur et pouvoir aligner réellement le SI sur le métier en intégrant des connaissances associées aux ressources et aux produits, d'une part et d'autre part pouvoir composer des processus à la demande.
La nécessaire adaptation du SI au modèle d'organisation Lean de l'entreprise impose de maîtriser la complexité du SI et évaluer les changements à lui apporter pour permettre une organisation agile des flux d'information, intégrés à la chaîne de la valeur. Dans le chapitre suivant, nous présenterons un état de l'art des SI pour ensuite évaluer les changements à leur apporter pour sinon rendre le SI Lean, tout au moins lui permettre de soutenir efficacement l'organisation Lean de l'entreprise.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

Chapitre 4 Système d'Information d'Entreprise et Intégration du Lean

4.1 Introduction 53

4.2 Existant du Système d'Information de l'Entreprise 54

4.3 Interopérabilité des Systèmes 61

4.4 Conclusion 73

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

4.1 Introduction

Dans le chapitre précédent, nous avons présenté différentes stratégies de modélisation d'entreprise. Les modèles qui en sont issus apportent une connaissance globale de l'organisation et permettent de positionner les sources de gaspillage afin d'anticiper leur élimination. La mise en œuvre technologique de ces modèles d'entreprise dans une stratégie Lean repose sur la réorganisation d'un SI Lean. En effet, le SI représente l'épine dorsale de l'entreprise. Il est directement impacté par ces nouvelles exigences.

Or, les SI d'entreprise regroupent des logiciels (le plus souvent génériques) variés répondant chacun à une spécification métier. Ces logiciels n'ont pas été conçus a priori pour travailler ensemble et les échanges d'information entre eux sont donc définis au sein de l'entreprise au cas par cas. Cette multiplicité de logiciels et ces échanges non standardisés engendrent un SI complexe, une redondance des informations et donc des risques d'incohérence De ce fait, réaliser des adaptations pour suivre les processus métier effectifs de l'entreprise représente un coût prohibitif et risque également d'augmenter le niveau d'incohérence du SI. Le métier est ainsi amené à s'adapter à l'existant et à s'aligner sur le SI (au lieu de prendre en compte la dimension métier comme exigence principale pour y aligner les composants métier), ce qui conduit à à la définition de processus métier standardisés ne suivant pas réellement la logique métier de l'entreprise. Il faut en outre intégrer des traitements de médiation coûteux pour permettre de communiquer entre logiciels métier différents.

Pour réduire la complexité du SI, les stratégies d'urbanisation SI l'organise en silos métier en considérant chacun d'eux comme un sous-système autonome (Longépé, 2003). Ceci conduit donc, selon la logique Lean, à de nombreux « gaspillage » (redondance d'information dans les différents systèmes, ajout de tâches de médiation non porteuses de valeur…). De plus, le modèle traditionnel de chaîne de la valeur (Porter, La chaîne de Valeur – part 1, 2 & 3, 2008) ne considére pas le développement du SI comme une activité principale, bien qu'il regroupe des tâches sources de valeur ajoutée . Ceci conduit à séparer l'espace « des flux de production » de l'espace « des flux d'information » et induit de nouvelles sources de gaspillage du fait du non alignement du SI sur l'organisation métier de l'entreprise (ajout de tâches non créatrices de valeur).

Dans ce chapitre, nous dresserons d'abord un état de l'art sur l'organisation des SI d'entreprise et des différentes familles de logiciels qui les composent à partir des visions statiques, dynamiques et processus que nous avons identifiées dans les chapitres précédents. Pour éliminer les problèmes de redondance, hétérogénéité et interopérabilité du SI actuel, nous introduirons ensuite la gestion de l'interopérabilité, d'abord au niveau technologique grâce aux architectures orientées services et aux middleware associés, puis au niveau sémantique en présentant plusieurs ontologies métier qui pourraient ensuite être intégrée dans une ontologie pivot permettant de standardiser sémantiquement les échanges entre composants métier différents.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

4.2 Existant du Système d'Information de l'Entreprise

Le SI est aujourd'hui au cœur du fonctionnement de toute organisation, et son efficacité en conditionne les performances. Il est donc vital pour l'entreprise de savoir gérer son SI avec rigueur et cohérence. Or, la réalité des SI d'entreprise montre des problèmes d'agilité et de cohérence. En effet, l'entreprise a conçu son SI pour fonctionner dans un environnement stable où les changements sont peu fréquents ceci a produit un SI résistant aux changements et peu réactif.

Le SI est plutôt recentré autour du métier de l'entreprise, en intégrant les informations provenant de plusieurs entités. Il résulte d'un processus souvent à sens unique, partant d'un recueil exhaustif des besoins et aboutissant à un système lourd et peu cohérent où il est même parfois difficile de rassembler les données pour obtenir une vue d'ensemble complète des opérations de l'organisation. Ceci engendre une fragmentation des données en systèmes « métier » séparés et diminue donc l'efficacité globale de l'organisation.

En outre, l'évolution constante des métiers (due aux changements de règles et de dynamique liés aux changements de contexte structurel d'une économie mondialisée) et des techniques ont complexifié la gestion des SI et le manque d'agilité du SI pénalise globalement l'entreprise. Chaque entreprise intègre différentes applications métier (Figure 4.1) sans les intégrer pour suivre la chaîne de la valeur. Parmi les briques applicatives constituant un SI d'entreprise, on peut citer :

- Le SCM (Supply Chain Management) : responsable de la planification de la chaîne logistique
- Le CRM (Customer Relationship Management) : lié à la gestion des relations clients et contribue aux fonctions de vente et du marketing
- Le PLM[3] (Product Life-cycle Management) : définissant les besoins de documentation en conception et fabrication des produits
- L'ERP (Enterprise Resource Planning) : réunissant toutes les informations pour la planification des ressources de l'entreprise et supportant la gestion de l'ensemble des processus opérationnels de l'entreprise (Tomas & Bourdellès, 2007)
- Le MES[4] (Manufacturing Execution System) : outil de supervision de l'atelier gérant les ordres de fabrication provenant de l'ERP et lui retournant l'état des encours et le rapport des évènements qui se sont produits dans l'atelier
- Le SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) : un système de commande et d'acquisition des données de surveillance incluant les robots, les contrôleurs, les matériaux…

[3] http://www.product-lifecycle-management.com/

[4] http://www.mesportal.org/

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

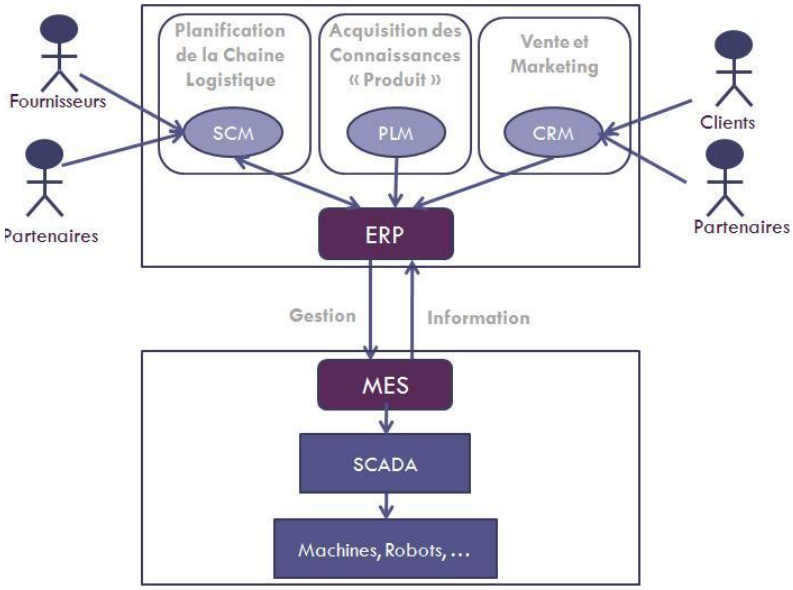


Figure 4.1. Organisation du Système d'Information de l'Entreprise

4.2.1 La Vision « Processus »

Dans les entreprises, l'architecture globale des processus couvre l'organisation entière et s'étend vers ses clients, ses fournisseurs et ses autres partenaires, comme l'illustre la Figure 4.2. Les SI d'entreprise créent une plateforme intégrée qui permet de coordonner l'ensemble des processus de l'entreprise. Les processus métier constituent des ensembles d'opérations et d'activités enchaînées logiquement et spécifiquement entre elles afin d'aboutir à un résultat spécifique. Ceci dit, ces mêmes processus peuvent aussi présenter un handicap s'ils sont fondés sur des habitudes de travail qui ralentissent la réactivité et l'efficacité de l'organisation. En effet, dans une organisation Lean, l'objectif est d'avoir des processus verticaux pour le traitement des facettes métier et des processus transversaux pour piloter la chaîne de valeur tirée vers le client.

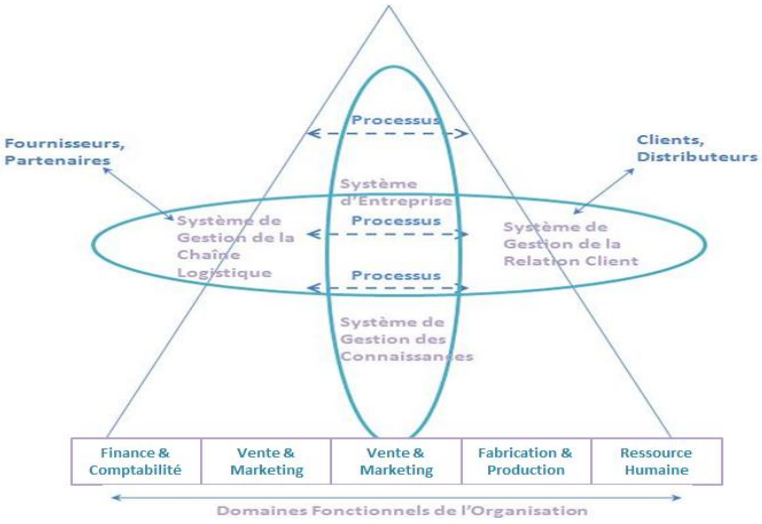


Figure 4.2. Architecture Globale des Processus (Laudon & Laudon, 2006)

Les processus ont besoin d'informations pour s'exécuter. C'est pourquoi, ils sont reliés aux deux visions statique et dynamique de l'entreprise. Ils ont besoin des référentiels de données créés par

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

les applications pour pouvoir atteindre leurs objectifs. Les entreprises peuvent améliorer leur flexibilité et leur production en coordonnant plus étroitement leurs processus et, dans certains cas, en centrant ces processus sur une gestion efficace des ressources au service des exigences des clients.

4.2.2 Les Systèmes Support

Dans ce qui suit, nous présentons quelques briques applicatives du SI, support de ces processus métier.

4.2.2.1 Les Systèmes de Gestion de la Chaîne Logistique

L'objectif de ces applications est d'optimiser l'ensemble des activités de logistique, des exigences « aval » venant du client jusqu'aux activités « amont » dans le temps global le plus court et au coût total le plus bas possible. Les systèmes de gestion de la chaîne logistique (dits SCM) aident l'entreprise à gérer ses relations avec ses partenaires à savoir les fournisseurs, les distributeurs, les sous-traitants… afin d'optimiser la planification, la localisation des sources d'approvisionnements, la fabrication et la livraison des produits et services. Ils sont chargés de l'anticipation et du pilotage des flux physiques de l'entreprise, de la demande du client aux approvisionnements provenant des fournisseurs, à l'aide d'outils de planification et d'aide à la décision (Laudon & Laudon, 2006) en intégrant des informations provenant de différents secteurs (Figure 4.3).

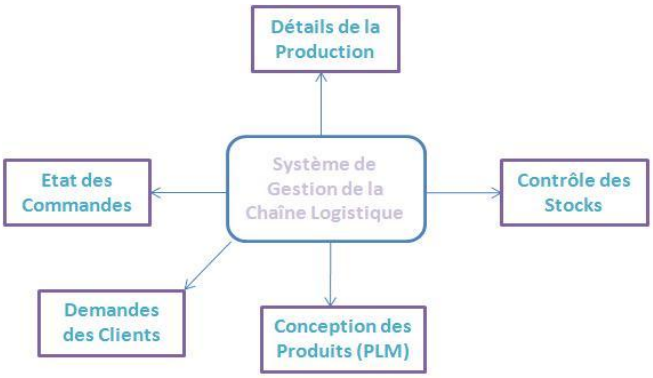


Figure 4.3. Système de Gestion de la Chaîne Logistique (Laudon & Laudon, 2006)

Ces systèmes de gestion de la chaîne d'approvisionnement font partis d'un dispositif inter organisationnel, puisqu'ils automatisent la circulation du flux d'information au-delà des frontières de l'entreprise en lui permettant de créer des liens avec ses fournisseurs et d'externaliser son travail vers d'autres entreprises et doivent donc s'intégrer à la fois dans le SI de l'entreprise et avec les SI des partenaires pour une efficacité optimale.

4.2.2.2 Les Systèmes de Gestion de la Relation Client

Ces systèmes sont connus sous l'acronyme de CRM – « Customer Relationship Management ». Ils supportent tous les processus qui organisent les interactions de l'entreprise avec ses clients (ventes, marketing et service après-vente), afin d'optimiser les revenus de l'entreprise et d'augmenter la satisfaction du client et sa fidélisation. Les systèmes de CRM doivent permettre de

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

disposer d'un ensemble cohérent et accessible de données fiables sur le client et présenter une image cohérente de l'entreprise (Laudon & Laudon, 2006). Ces systèmes permettent aux différents processus de partager leurs informations relatives aux clients.

4.2.2.3 La Gestion du Cycle de Vie des Produits

Le développement de projets de gestion des données produit permet de réutiliser des procédés et des équipements existants, de maintenir une normalisation entre les procédés dans les différentes usines ainsi que d'améliorer la propagation des modifications. Pour cela, on peut gérer une nomenclature des procédés en parallèle de la nomenclature d'ingénierie du produit. Cette intégration des différentes informations produit est illustrée dans la Figure 4.4.

Figure 4.4. Gestion du Cycle de Vie des Produits (Laudon & Laudon, 2006)

4.2.2.4 Le Progiciel de Gestion Intégré

Les progiciels de gestion intégrés (PGI) ou ERP – « Enterprise Resources Planing » intègrent le SI supportant la gestion de l'entreprise en coordonnant et intégrant des processus clés de l'ensemble de l'organisation (Figure 4.5). Les données sont rassemblées dans une base de données unifiée et structurée selon un référentiel d'entreprise unique. Les différentes entités peuvent alors utiliser ces données efficacement. Cette centralisation permet de partager l'information entre processus de fabrication et de gestion de production, de comptabilité et de gestion financière, de gestion des ressources humaines et de gestion logistique ou des ventes et du marketing.

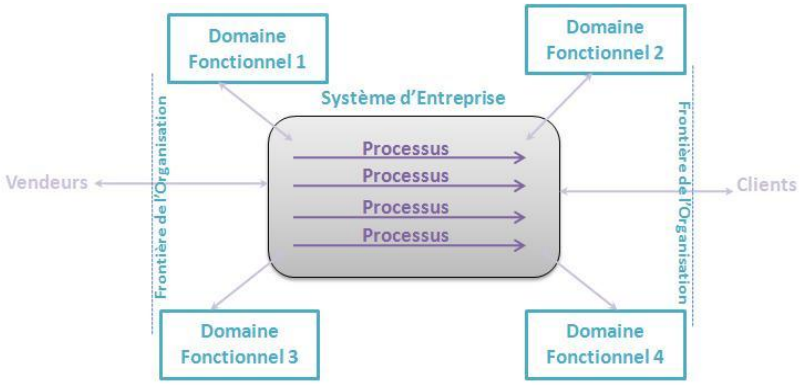


Figure 4.5. Système Intégré ERP (Laudon & Laudon, 2006, p54)

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

Cependant, la stratégie Lean peut s'opposer à l'implémentation des progiciels ERP. En effet, si l'ERP permet de s'aligner sur les meilleures pratiques, il ne permet de suivre l'évolution de ces bonnes pratiques. En cela, il ne respecte pas de l'amélioration continue.

4.2.3 Systèmes Supportant la Production

Pour fabriquer des produits apportant de la valeur ajoutée aux clients, une entreprise utilise des ressources (matières premières, main d'œuvre et machines) conformément à un ensemble de pratiques, règles, outils et méthodes qui forment la culture industrielle de l'entreprise (DeVor, Graves, & Mills, 1997). Cette culture définit le bon usage des machines et matières afin de produire de manière efficiente les produits attendus par les clients. Pour assurer cette production de manière efficiente, il convient de disposer d'outils permettant une bonne gestion des ressources : réservation selon l'ordonnancement, gestion de leur statut en temps réel et de leur historique d'usage (Javel, 2004).

Outre la gestion des ressources, il faut aussi gérer les flux, ordre et lot de fabrication, tâches… ce qui impose de gérer en temps réel les informations correspondantes ce qui pose des problèmes de partage de terminologie entre systèmes différents. Pour pallier cette limite, la norme ISA S-95 définit des terminologies et des modèles d'information pour établir une communication entre les niveaux métier et manufacturier de l'entreprise qui utilisent des logiciels différents comme les ERP pour la gestion des ressources, les MES pour la supervision du système manufacturier, le système SCADA pour la supervision et l'acquisition des données, illustrés dans la Figure 4.6.

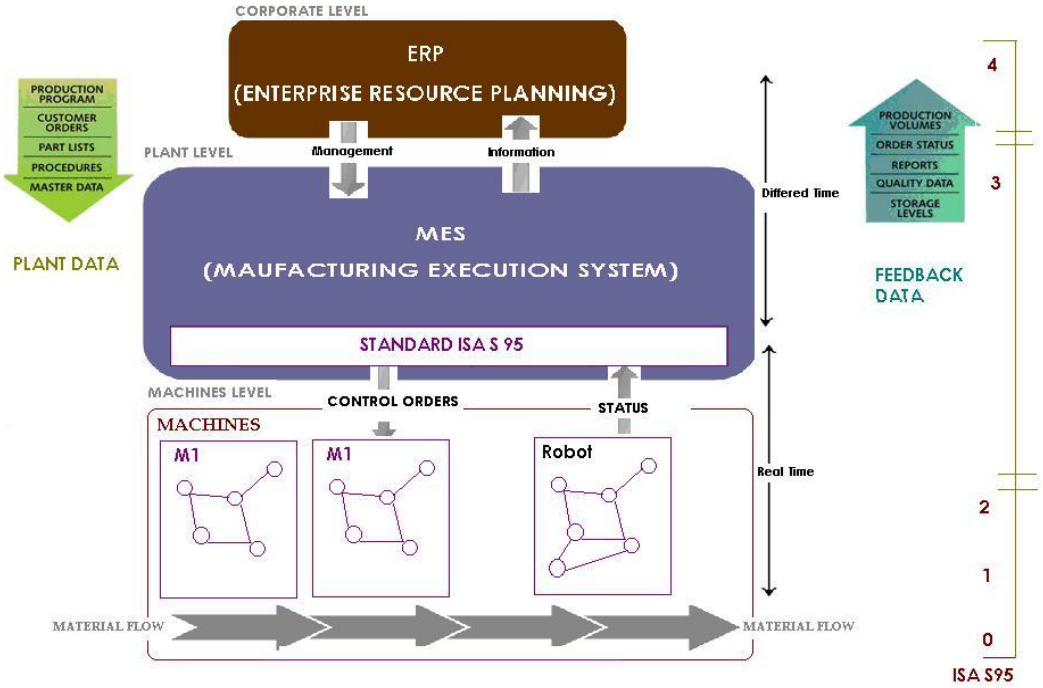


Figure 4.6. Systèmes de Pilotage et de Supervision de la Production

A ce titre, le standard ISA S-95 intervient à différents niveaux (ANSI/ISA, 2007) :

- Le niveau 0 représente les processus de production actuels
- Le niveau 1 définit les activités liées au processus physiques

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

- Le niveau 2 assure la supervision et le contrôle des processus physiques
- Le niveau 3 définit les flux d'activités pour fabriquer les produits finis
- Le niveau 4 définit les activités liées au métier de l'entreprise, nécessaires pour la gestion de l'organisation manufacturière.

Le système industriel intègre deux composants :

- Le système SCADA « Supervisory Control And Data Acquisition » inclut le matériel, les contrôleurs, l'interface utilisateur, les réseaux, la communication, la base de données et le logiciel de signalisation des entrées-sorties permettant de surveiller et contrôler le procédé de production. Ses principales fonctionnalités sont l'acquisition des données, l'analyse et le contrôle, le pilotage des processus, la gestion des automatismes, le suivi des états et des alarmes, la journalisation des événements (Tomas & Bourdellès, 2007)... Le système SCADA fait essentiellement partie de la branche des technologies de l'instrumentation.
- Le système MES est destiné à obtenir une vision globale et immédiate de la production sur l'ensemble des ressources (matières, équipements, personnel) d'un atelier. Il a capacité à se projeter dans le passé par la mise en œuvre de l'historisation et/ou de la traçabilité (Actors Solution), de surveiller, mémoriser et permettre d'analyser tous les évènements normaux et critiques liés à celle-ci, afin de rendre compte aux services fonctionnels de l'entreprise (Mc Clellan, 1997). Il permet à tous les acteurs des différents services composant une entreprise ayant un lien avec la production, de travailler avec un système unique et homogène favorisant l'analyse et le « reporting » sans avoir à mettre en œuvre d'interfaces spécifiques entre systèmes différents. Le MES est pensé pour collecter les indicateurs, analyser les performances des équipements, afficher les informations décrivant l'état de la production (en-cours, produits finis, machines…) (Hwang, 2006). Ce système représente un pont entre le niveau système de pilotage des processus et le niveau de gestion organisationnelle en associant les systèmes ERP et SCADA (Figure 4.7).

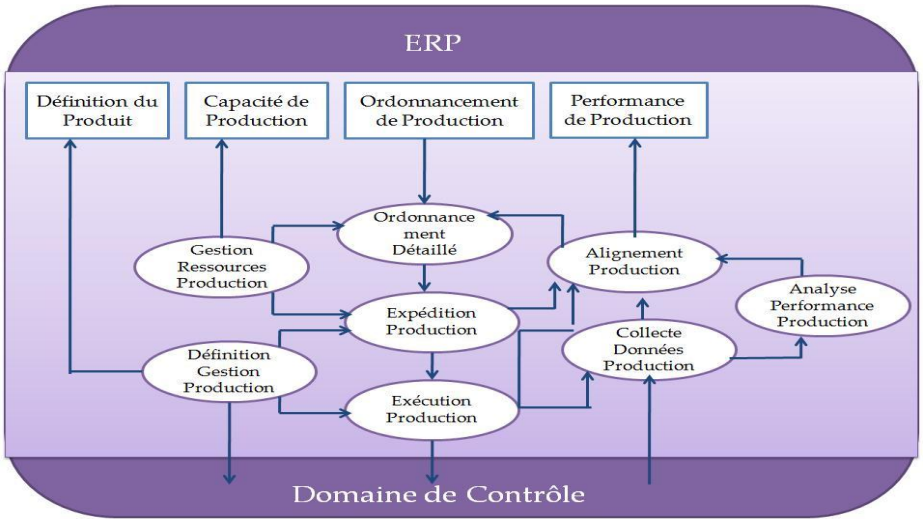


Figure 4.7. Vue d'ensemble du MES (Siemens Industrial Solutions & Services, 2005)

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

4.2.4 Problèmes Liés à l'Existant du SI de l'Entreprise

Le SI, support de l'exécution des processus métier de l'entreprise, est directement impacté par les contraintes de l'environnement de l'entreprise : importance des collaborations et déploiement de la stratégie Lean. Or la réalité des SI montre des problèmes d'agilité et de cohérence. En effet, les SI d'entreprise ont été conçus pour fonctionner dans un environnement stable où les changements sont limités ce qui ne correspond pas au contexte actuel. En outre, la démarche de conception par métier est organisée le plus souvent comme un processus à sens unique, partant d'un recueil exhaustif des besoins et aboutissant à un système lourd segmenté par domaine et donc peu cohérent. Il est parfois difficile de rassembler les données pour obtenir une vue d'ensemble complète du fait de sa complexité et de son manque d'agilité l'efficacité globale de l'organisation. Cette complexité conduit souvent à une organisation en « silos » selon les domaines métier ce qui rend le système global peu évolutif d'autant que les différents systèmes applicatifs mis en œuvre génèrent des problèmes d'interopérabilité.

Il faut chercher des solutions non seulement pour concilier les différents secteurs d'activité d'entreprise : du contrôle de production (qui maîtrise la complexité des problèmes de l'atelier) à la gestion industrielle (qui s'occupe des problèmes de planification et de comptabilité) mais aussi pour gérer la diversité des logiciels de l'entreprise (SCM, CRM et PLM dans l'espace statique, le MES et SCADA dans l'espace dynamique et l'ERP dans l'espace processus). En effet, la multiplicité des composants logiciels interconnectés conduit à un SI complexe intégrant des informations redondantes ce qui pose des problèmes de cohérence, devant supporter simultanément des vues métier (gestion des clients, gestion des achats, gestion de production, comptabilité…) et des vues transversales associées aux différentes dimensions de « manufacturing » pour pouvoir écouler une chaîne de la valeur et créer une véritable collaboration interentreprises.

L'urbanisation du SI est ainsi apparue comme une réponse à cette complexité. Elle est vue comme une évolution naturelle des méthodologies de construction de parcs applicatifs et intègre différents éléments comme l'analyse fonctionnelle, les processus, la formalisation des interfaces, la définition des rôles, l'analyse des flots de données... Il ne s'agit pas d'une révolution conceptuelle, mais au contraire d'une maturation progressive de ces concepts utilisant des principes simples (décomposition, découplage, intermédiation…) pour répondre à des objectifs classiques tels que (Caseau, 2006) :

- la flexibilité et l'agilité pour pouvoir effectuer des modifications ou des extensions des fonctions du système d'information. Ce sont les qualités les plus difficiles à obtenir le plus souvent citées en vue de satisfaire la demande la plus forte des clients internes à l'entreprise.
- la mutualisation : elle est au niveau système d'information ce qu'est la réutilisation au niveau logiciel et consiste à repérer et construire les invariants du système d'information.
- la scalabilité, la résilience : c'est la capacité d'un système d'information à pouvoir supporter des volumes plus importants de traitement sans jamais impacter son

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

architecture en augmentant les ressources, dupliquant certains composants et parallélisant des traitements…

Pour répondre à ces objectifs, les urbanistes ont construit une architecture en quatre niveaux (modèle de référence de l'urbanisme (Fournier-Morel, Grojean, Plouin, & Rognon, 2006)) :

- l'architecture métier : elle est associée aux évènements métier que l'entreprise doit traiter, aux processus métier répondant à ces évènements et aux documents utilisés dans les processus… A ce niveau, les processus métier désignent les procédures en vigueur dans l'entreprise pour traiter un évènement métier.
- l'architecture fonctionnelle : il s'agit de blocs fonctionnels et flux d'information support à la réalisation des processus métier, indépendant des technologies mises en œuvre
- l'architecture applicative : ce sont des blocs applicatifs support à la mise en œuvre des blocs fonctionnels et des flux. Ils dépendent des technologies mises en œuvre dans le SI
- l'architecture technique : c'est l'infrastructure sur laquelle sont implémentés et exécutés les blocs applicatifs. Elle est construite en prenant en compte les contraintes de performance (qualité de service) et de sécurité.

Cet éclatement est pénalisant à plusieurs titres :

- La vision organisationnelle de l'urbanisation ne permet pas de donner une vision sur la chaîne de la valeur globale puisqu'on reste sur des îlots métier.
- La complexité engendrée par la variété des technologies limite les possibilités d'évolution
- Le manque d'interopérabilité conduit à une redondance de l'information
- La communication entre les applications est souvent gérée au cas par cas par des liens en fonction des besoins aboutissant au syndrome de « spaghetti » (Fournier-Morel, et al. 2008)
- L'absence de solution globale et efficace augmente à la fois le coût de maintenance (Fournier-Morel, Grojean, Plouin, & Rognon, 2006) et bloque le SI sur les exigences métier ayant présidé à sa conception (d'où un manque d'agilité)
- Enfin, l'interaction avec d'autres entreprises est strictement régie par les formes d'échanges d'informations qui doivent être fixées et prévues à l'avance vu le manque d'ouverture du SI qui n'a pas été pensé pour s'aligner à des processus collaboratifs (Chaari, 2008).

4.3 Interopérabilité des Systèmes

L'interopérabilité, problématique apparue au début des années 90, peut être définie comme « *la capacité pour deux systèmes à échanger des informations et à utiliser les informations qu'ils ont échangées* » (IEEE, 1990), comme la « *compatibilité des équipements, des procédures ou des organisations permettant à plusieurs systèmes d'agir ensemble* »(IDEAS Project, 2003) ou encore « *l'habilité pour un système à communiquer avec un autresystème et à utiliser les fonctionnalités*

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

de celui-ci » (Vernadat, 1996). Dans le domaine industriel, elle représente « *la capacité d'interaction entre les applications d'entreprises. L'interopérabilité est considérée comme acquise si cette interaction peut, au moins, se réaliser à trois niveaux : donnée, application et organisation* » (IDEAS Project, 2003).

Cette problématique d'interopérabilité se pose à la fois pour l'intégration du SI industriel et pour l'organisation d'entreprise virtuelle. Ces problèmes d'interopérabilité se présentent sur trois niveaux (Daclin, et al., 2008) :

- Organisationnel : la définition des responsabilités et de la gestion des autorités, des facteurs humains et des comportements organisationnels de l'entreprise.
- Conceptuels : liés à la modélisation de l'information de haut niveau d'abstraction telle que la cohérence stratégique
- Technologiques : associés à l'incompatibilité des technologies de l'information. Cette catégorie pose le problème des normes de traitement des données à travers les outils informatiques

Pour pallier ces problèmes, il faudra organiser et maîtriser l'hétérogénéité des données et des logiciels et rationaliser la mise en commun d'informations à travers des référentiels. La solution proposée par (Chen, et al., 2006) (voir Figure 4.8) introduit quatre niveaux :

- l'interopérabilité des données concerne les modèles de données du travail collaboratif et l'organisation des schémas conceptuels
- l'interopérabilité des services permet de définir des fonctions communes à diverses applications pour résoudre les problèmes syntaxiques et sémantiques d'une part et de rassembler des bases de données hétérogènes d'autre part
- l'interopérabilité des processus vise à faire travailler ensemble divers processus pour répondre à un besoin particulier et à relier des processus internes de deux entreprises pour créer un processus commun
- l'interopérabilité des affaires vise l'harmonisation de l'organisation globale des entreprises (la prise de décision, les méthodes de travail, l'approche marketing…) de façon à développer des activités conjointes.

Une couverture globale des quatre niveaux d'interopérabilité contribue à la mise en place d'une démarche Lean puisque les sources de gaspillage liées au manque d'interopérabilité seront de fait supprimées et à l'organisation de collaborations interentreprises.

Notre analyse des solutions d'interopérabilité pour les SI nous conduit à traiter deux niveaux de problème : le niveau sémantique et le niveau technologique. Au niveau sémantique, la mise en place d'une terminologie commune via des ontologies d'entreprise peut apporter une solution. Au niveau technologique, le développement des Architectures Orientées Services (SOA) et les standards associés peuvent apporter une solution satisfaisante pour le SI. Notons aussi que cette approche favorise la cohérence du SI et permet de conduire des processus transversaux.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

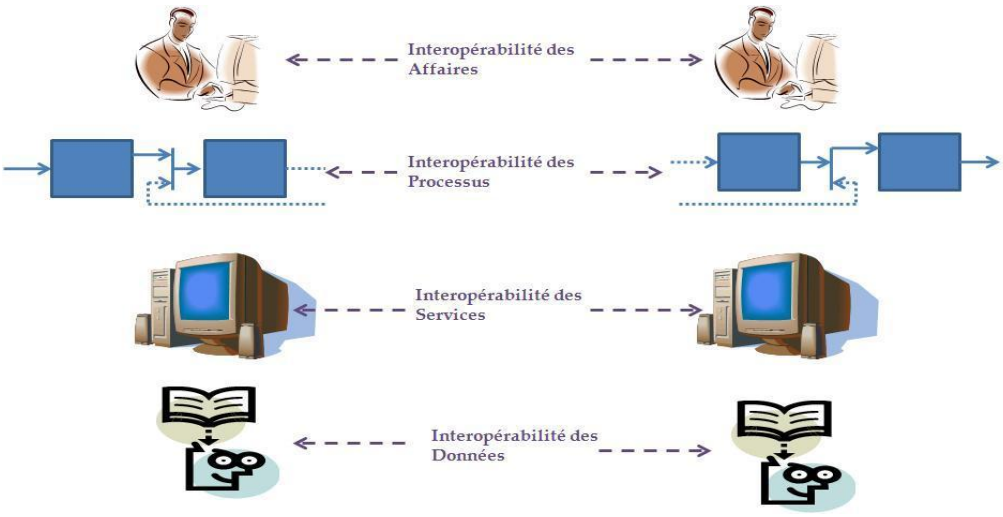


Figure 4.8. Les Quatre Niveaux d'Interopérabilité (Chen, et al., 2006)

Dans ce qui suit, nous présentons les solutions d'interopérabilité technologique et sémantique. Dans nos travaux de recherche, nous ne traitons pas l'interopérabilité organisationnelle.

4.3.1 L'Interopérabilité Technologique : les Architectures Orientées Services

L'automatisation et la gestion des processus métier ont été historiquement un challenge difficile pour les entreprises en raison du manque de flexibilité de l'infrastructure informatique. L'Architecture Orientée Service fournit cette flexibilité nécessaire en associant aux processus métier un niveau d'abstraction adapté tant pour leur définition que pour leur exécution ce qui est la base de l'autonomie et de l'agilité pour permettre l'évolution du SI. La promesse d'interopérabilité qui en résulte est un des principaux facteurs de l'engouement envers les architectures orientées services (Longépé, 2003). Les Architectures Orientées Services organisent un couplage lâche entre les composants du SI (Khoshafian, 2007). Le but fondamental d'un service est de représenter une unité logique et complète d'un processus métier. Un service est un ensemble fonctionnel cohérent d'une application encapsulée par une interface bien définie. Les services sont publiés et peuvent être découverts et utilisés par des applications utilisatrices ou d'autres services (Zhao, et al., 2005). Il existe des techniques pour segmenter une application en fonctions, et exposer ces fonctions sous forme de services, même si la granularité de ces services reste variable en fonction de l'application considérée.

Le service proposé se doit d'être en parfaite adéquation avec les besoins exprimés, comme l'illustre la Figure 4.9. Cette expression des besoins est appelée SLR (Service Layer Request). Chaque service est associé à une norme : le niveau de service. L'analyse de la valeur d'un service, bien que difficile, est aujourd'hui un passage obligé pour initialiser la mutation de la Direction des Systèmes d'Information vers un modèle centré vers le client (Nawrocki, 2004).

La notion de service repose sur quatre fondamentaux : le support d'interface, la séparation interface/implémentation (la façon dont le service s'exécute et les règles métier qu'il applique forment une boîte noire), la neutralité technologique (l'accès au service s'opère depuis une

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

interface mise à disposition via des protocoles normalisés) et la découverte dynamique du producteur par le consommateur de service.

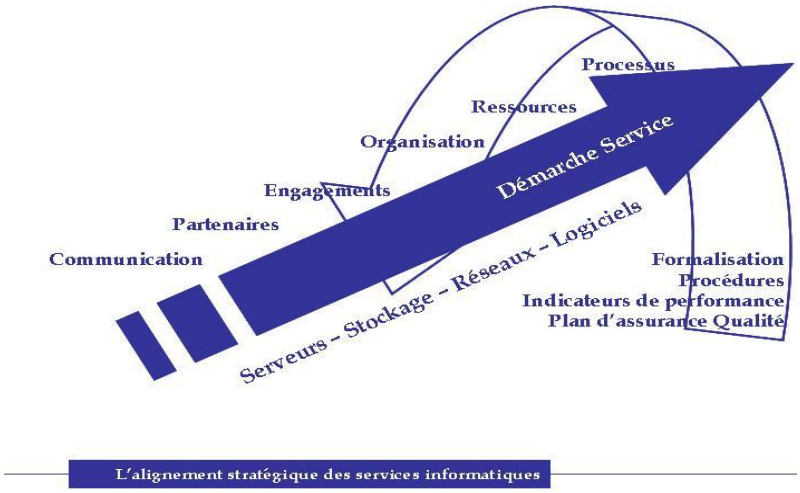


Figure 4.9. Les composants d'une approche service (Nawrocki, 2004 pp 196)

4.3.1.1 Les Architecture Orientées Services

Le paradigme des Architectures Orientées Services consiste à orchestrer convenablement des services ou des composants pour exécuter une tâche, une activité, un processus… L'Architecture Orientée Service est utilisée pour interconnecter différents composants du système d'information, tels que les ERP, CRM, SCM… comme l'illustre la Figure 4.10. La notion d'annuaire est centrale : elle permet aux consommateurs de trouver rapidement et efficacement le service dont ils ont besoin dans un système qui va croître en richesse mais aussi en complexité avec le temps (Rivard, Brendel, Buche, Delayre, Mocaër, & Nevers, 2005).

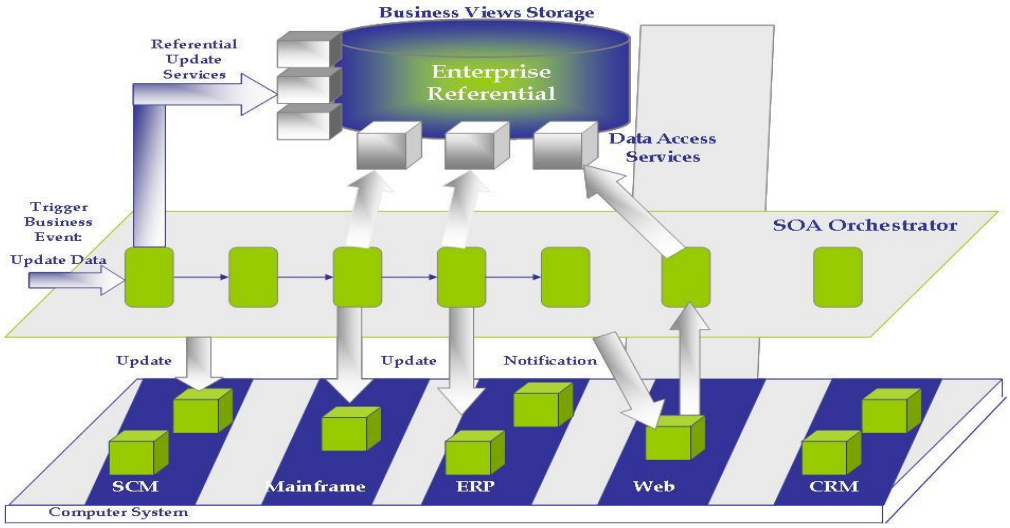


Figure 4.10. Gestion des référentiels d'entreprise (Rivard, Brendel, Buche, Delayre, Mocaër, & Nevers, 2005)

L'Architecture Orientée Service permet de construire des applications logicielles utilisant des services disponibles dans un environnement distribué. Elle se base sur le principe des couplages lâches entre les composants logiciels pour permettre leur réutilisabilité. Les applications de l'sont composées de services ayant des interfaces bien définies indépendantes de leurs techniques

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

d'implémentation. C'est ainsi que l'Architecture Orientée Service fournit des réponses instantanées aux demandes des clients à travers des services qui offrent des fonctionnalités métier utilisées dans différentes applications ou processus métier (Zhao, et al., 2005).

Un des avantages majeurs de cette architecture réside dans l'utilisation d'interfaces standards qui permettent l'agrégation de composants distribués autonomes. Les services consommateurs peuvent dynamiquement localiser les services appropriés à travers les référentiels des services et les invoquer via le protocole SOAP (Khoshafian, 2007). On retrouve les principaux concepts des Architectures Orientées Services dans les principes fondateurs de « CORBA » ou d'autres technologies de Bus Applicatifs organisés autour de l'invocation distante de méthodes (Rivard, Brendel, Buche, Delayre, Mocaër, & Nevers, 2005). Une Architecture Orientée Service comprend :

- les services web, actuelle implémentation de référence des Architectures Orientées Services qui permettent de standardiser l'accès aux services pour tout le système d'information.
- les outils d'activation qui apportent des notions d'asynchronisme (également nommé EDA : Event-Driven Architecture, architecture pilotée par les évènements) répondant aux enjeux récurrents de flexibilité en s'inspirant de l'EAI (Entreprise Application Integration)
- les middlewares qui regroupent des fonctions de routage et la gestion de la distribution (Schmidt, Hutchinson, Lambros, & Phippen, 2005).

4.3.1.2 Les Bus de Services

L'ESB (Enterprise Service Bus) ou Bus de Service d'Entreprise, illustré dans la Figure 4.11, est un intergiciel (middleware) qui permet de regrouper et de faire communiquer toutes les applications informatiques à travers des technologies standards variées (Chappell, 2004).

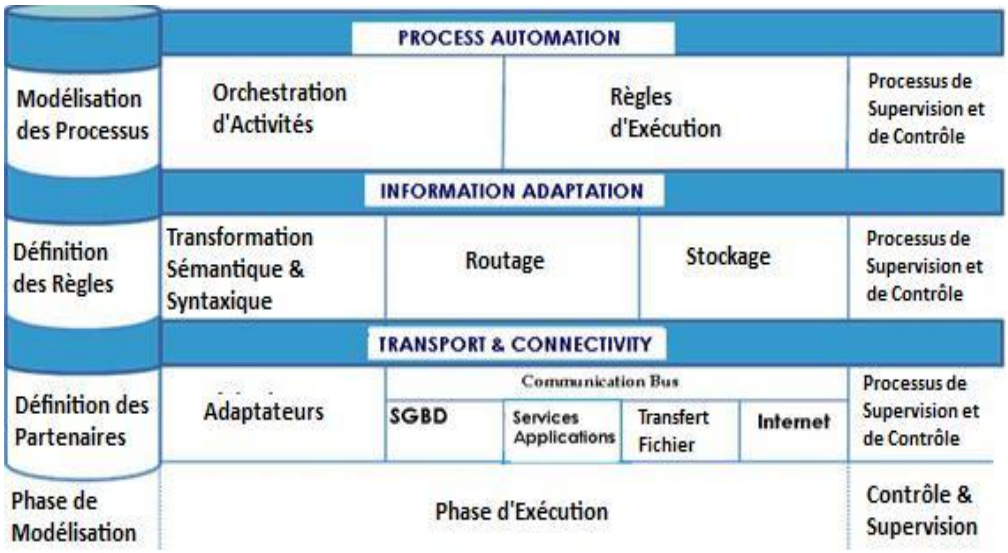


Figure 4.11. Bus de Services d'Entreprise (Manouvrier & Ménard, 2007)

Il relie les applications métier et procure une communication entre elles. L'ESB en tant que médiateur entre les clients et les fournisseurs de services s'appuie sur les principes suivants (Schmidt, Hutchinson, Lambros, & Phippen, 2005) :

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

- La découverte dynamique : les services ainsi que la sémantique associée sont enregistrés dans un annuaire partagé.
- La chorégraphie des processus métier et l'orchestration des services associés : un outil permet d'orchestrer automatiquement les services nécessaires à l'implémentation des processus collaboratifs représentés graphiquement.
- La distribution forte : les services sont distribués sur le réseau de l'entreprise ou sur Internet.
- La communication par messages : les services échangent des messages (représentés par des documents textuels).

Les fondements d'un ESB sont au nombre de quatre, (Chappell, 2004) :

- Le Middleware Orienté Message (MOM) : permet d'échanger des messages de manière asynchrone. Ainsi, chaque message est déposé dans une file d'attente avant d'être consommé par le destinataire.
- Les services web : permettent d'interfacer les applications avec le bus. A noter qu'un service qui se trouve dans un conteneur de service n'est pas forcément un service web.
- Les transformations : concernent les messages circulant sur le bus. Elles sont essentielles dans un ESB car son rôle est de permettre à des applications de converser même si elles définissent différemment leurs données.
- Le routage : découple l'expéditeur du message de son destinataire. C'est en fait l'ESB qui va déduire la destination du message. Pour cela, il se base sur le contenu du message et les règles qui ont été définies.

Le BAM (Business Activity Monitoring) peut s'intégrer dans l'architecture du bus de services pour suivre en temps réel l'activité d'un processus ainsi que le BPM (Business Process Management) qui permet d'orchestrer les processus c'est-à-dire composer la chaîne de services. Cette solution est composée d'un ensemble de « briques » dont chacune remplit une fonction bien précise dans la gestion des processus métier (Louis, 2008).

Construit entièrement sur les standards de l'industrie, incluant les services XML et web, l'ESB ouvre une voie vers des solutions d'intégration globales et accessibles, en unifiant les applications de l'entreprise. Cependant, ils sont orientés workflow pour l'exécution des services ce qui correspond à une stratégie en flux poussé. Ceci veut dire que les ESB définissent un schéma d'orchestration « ad-hoc », là où la composition des services est présélectionnée et les flux sont spécifiés auparavant (Charif, 2007).

Les Architectures Orientées Services répondent aux enjeux technologiques mais elles comportent des limites par rapport au niveau métier (entre le niveau conceptuel et le niveau technologique) qui est peu couvert. En outre, la vision organisationnelle « dédiée métier » ne permet pas de donner une vision sur la chaîne de la valeur globale, puisqu'elle définit des îlots métier ce qui génère un problème d'organisation des processus continus dans une stratégie Lean. Pour pallier

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

ces inconvénients, le SI doit s'aligner au métier de l'entreprise en assurant une interopérabilité sémantique.

4.3.2 L'Interopérabilité Sémantique : les Ontologies d'Entreprise

L'interopérabilité sémantique assure la compréhension au niveau métier entre les différents acteurs du SI. Elle représente l'interprétation des échanges entre les différentes applications de l'entreprise (ERP, MES, SCM, CRM…) et entre l'entreprise et ses partenaires à travers un vocabulaire commun.

Pour identifier un vocabulaire commun à l'entreprise et échanger des connaissances avec d'autres partenaires, plusieurs travaux ont défini des ontologies spécifiques aux entreprises et à leurs domaines d'activité. Les ontologies d'entreprise définissent l'organisation des connaissances autour des activités de l'entreprise, à savoir les processus, les organismes, les stratégies... Elles définissent une représentation du métier de l'entreprise dans un but de compréhension par des personnes et des logiciels (Zouggar, Vallespir, & Chen, 2006). Les ontologies d'entreprise doivent décrire les classes d'objets à organiser (projet, personne, produit, contrat…), les relations pouvant exister entre les objets (classe objet Personne « employée par » classe objet Organisation) et enfin les propriétés ou les attributs attachés à ces objets (référence, description, adresse, taille…).

Nous présentons dans ce qui suit quelques référentiels.

4.3.2.1 EO « Enterprise Ontology »

Ces travaux ont été élaborés entre autres par l'institut des applications d'intelligence artificielle à l'université d'Edinburgh et définissent un cadre de modélisation pour l'intégration des méthodes et outils de l'entreprise (USCHOLD, KING, MORALEE, & ZORGIOS, 1997) utilisables pour la spécification des applications et des systèmes d'entreprises. La démarche EO (Enterprise Ontology) définit l'interopérabilité entre les différents outils de modélisation d'entreprise via un format commun. Elle garantit, ainsi, une communication fluide entre les partenaires à travers une modélisation unifiée pour les modèles d'entreprise. Elle offre une infrastructure stable et adaptable pour le partage et la spécification des besoins (Baïna, 2006).

L'ontologie EO regroupe une collection de termes et de définitions du métier de l'entreprise. Elle regroupe un nombre de sections principales, à savoir les activités et processus, l'organisation, la stratégie et le marketing. L'activité est représentée à travers le « Doer » qui peut être une personne, une unité organisationnelle ou une machine. Ces termes sont définis dans la section organisation de l'EO et font référence à des acteurs potentiels. L'organisation est une collection d'entités légales et d'unités organisationnelles. Le concept principal de la section stratégie se base sur les objectifs et sur le plan d'action de l'entreprise. Enfin, la section marketing est représentée par les ventes, les caractéristiques du produit, les besoins des clients, l'image de marque…

Enfin, la méthode de développement de l'ontologie EO proposée par (USCHOLD, KING, MORALEE, & ZORGIOS, 1997) regroupe quatre phases :

- La phase de définition décrit les objectifs de construction et de l'utilité de l'ontologie

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

- La phase de construction regroupe les phases de modélisation, implémentation et intégration
- La phase d'évaluation assure la réponse aux objectifs et besoins de l'ontologie et regroupe un ensemble concret et nécessaire de concepts
- La phase de documentation annote l'ontologie.

4.3.2.2 TOVE

TOVE est une ontologie des besoins dans le domaine de la conception en ingénierie (Fox & Gruninger, 1994). TOVE est un ensemble d'ontologies intégrées qui contribuent à la modélisation des entreprises commerciales et publiques, et regroupe l'ontologie des activités, l'ontologie des ressources, l'ontologie de l'organisation, l'ontologie du produit et des besoins, l'ontologie de la qualité ISA9000 et de l'ontologie des activités basées sur le prix.

Le modèle de l'ontologie fournit une spécification mathématique d'une terminologie qui représente une interprétation des termes de l'ontologie. Le langage de l'ontologie TOVE est un ensemble de symboles appelés lexiques dont la combinaison définit une formule syntaxique et grammaticale. Le lexique de TOVE regroupe des symboles logiques et non logiques (SánchezRuíz & Hansen, 2008). Le langage KIF (Knowledge Interchage Format) permet de définir un lexique logique (variables, connecteurs et des quantificateurs). Quant au lexique non logique, il regroupe des expressions (constantes, fonctions, relations) qui sont reliées à un concept d'un domaine donné, comme par exemple dans une ontologie de processus, les lexiques non logiques représentent toute description associée au processus. La modélisation et le développement de cette approche logique de l'ontologie permettent de définir une démarche rigoureuse et complète du métier de l'entreprise.

Dans l'ontologie TOVE, l'entreprise est définie selon les contraintes suivantes (SánchezRuíz & Hansen, 2008) : *Eaction Ω Eresource ΩEorg Ω Egoals Ω Eproducts ΩEservices ΩEocc ΩEexternal*

- « Eaction » est associé à l'ensemble des activités définies dans l'ontologie des activités intégrée dans TOVE (ensemble complet des activités, des actions complexes et les prés conditions).
- « Eresource » est reliée à l'ensemble des ressources définies dans l'ontologie des ressources de TOVE (contraintes, propriétés et état des ressources).
- « Erog » est l'ensemble des contraintes organisationnelles (rôle, position et agent dans l'entreprise). Cette contrainte Erog est définie dans l'ontologie de l'organisation de TOVE.
- « Egoals » définit les objectifs à atteindre par l'entreprise, objectifs qui représentent un ensemble de contraintes existentielles. Cette contrainte Egoals est définie dans l'ontologie de l'organisation de TOVE.
- « Eproduct » est l'ensemble des connaissances définissant les contraintes liées aux spécifications « produit », à la qualité et aux produits standards. Ces contraintes sont

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

définies dans l'ontologie du produit et des besoins et dans l'ontologie relative à la qualité ISA 9000.

- « Eservices » est l'ensemble des contraintes liées au produit et les activités associées pour la réalisation du produit.
- « Eocc » est l'ensemble des contraintes dans les activités de l'entreprise. Elle regroupe les politiques et habitudes de travail.
- « External » est l'ensemble des contraintes liées à l'environnement externe de l'entreprise comme le client, le marché, les fournisseurs et concurrents.

4.3.2.3 PSL « Process Specification Language »

Le « PSL » définit une ontologie et un format standard pour l'échange des processus industriels. Il est développé pour l'échange des connaissances entre machines ayant des représentations différentes. Il s'agit d'un format d'échange permettant d'échanger automatiquement l'information sur les processus (la définition, la planification, l'ordonnancement…) qui permet l'intégration des applications industrielles (Zouggar, Vallespir& Chen, 2006). A la base le PSL[5] se trouve une ontologie qui définit rigoureusement chacun des concepts nécessaires pour l'échange d'informations relatives aux procédés dans un contexte de production. L'ontologie regroupe un lexique (ensemble de symboles) et une grammaire (combinaison de symboles). Cette ontologie définit un processus comme un ensemble d'activités dans lesquelles existent des objets (object) et des instants donnés (Timepoint).

L'ontologie PSL est structurée à travers une classification logique d'un ensemble de théories dont les axiomes et les définitions sont décrits en utilisant le langage KIF (Knowledge Interchage Format). La première théorie « PSL Core » définit des concepts fondamentaux :

- les activités (atomiques et complexes)
- les sous-activités
- les occurrences des activités.

4.3.2.4 Le Standard ISA S-95

Le standard ISA S-95 définit des interfaces de connexion entre les systèmes ERP (Enterprise Resource Planning), MES (Manufacturing Execution System) et SCADA (Supervisory Control And Data Acquisiton (Molina & Santaelle, 2006). La norme ISA fournit ainsi à l'ensemble des intervenants, une base terminologique commune. Cela doit permettre de favoriser la compréhension et de faciliter la communication, non seulement au sein des entreprises, mais également entre l'entreprise et ses différents partenaires ou prestataires. Ce standard propose des modèles et terminologies pour décrire non seulement l'atelier et les opérations de production mais aussi les informations liées aux autres fonctions de l'entreprise et les échanges entre ces fonctions (ANSI/ISA, 2007, Figure 4.12).

[5] http://www.mel.nist.gov/psl/psl-ontology/

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

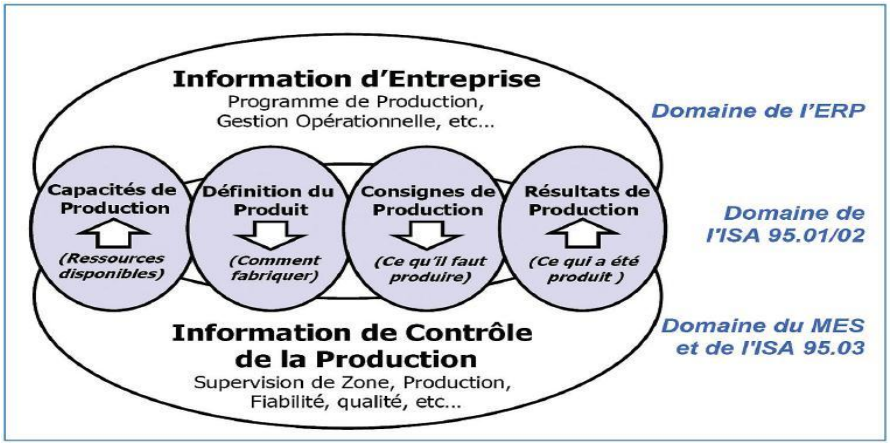


Figure 4.12. Domaines de la norme ISA S95 et nature des échanges spécifiés entre ERP et MES (ANSI/ISA, 2007)

Les informations sont échangés via dans des fichiers XML (Extensible Markup Language) ce qui facilite l'échange d'information entre les applications hétérogènes du SI, ce qui répond en partie au besoin d'interopérabilité.

Le standard ISA S-95 intervient dans les fonctions de tous niveaux hiérarchiques de l'entreprise, (Figure 4.13) : Processus physique (niveau 0), activités de base (niveau 1), monitoring (niveau 2), processus de fabrication des produits finis (niveau 3) intégrant la gestion des consignes et la coordination des processus, gestion du système de production (niveau 4) incluant l'ordonnancement, l'usage des matériels, la gestion des livraisons, des approvisionnements, des stocks. On peut noter que le niveau 4 utilise largement les informations issues du niveau 3.

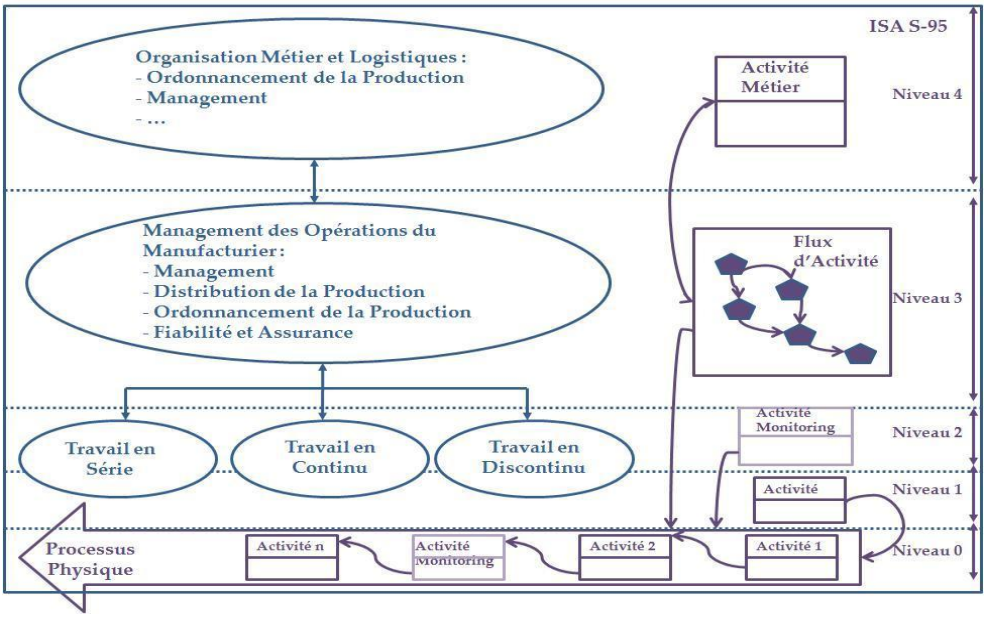


Figure 4.13. ISA S-95 selon la Hiérarchie Fonctionnelle de l'Entreprise (ANSI/ISA, 2007)

Les flux d'information représentés par la norme ISA S-95 intègrent :

- L'ingénierie des produits pour faciliter le passage de la conception des produits à la réalité industrielle,

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

- La gestion des ressources grâce à des attributs standards permettant de rester neutre sur la description des procédés
- Le programme de production qui fédère tous les flux logistiques autour de la fonction de production en exploitant les éléments issus de l'ingénierie des produits et de la gestion des ressources.

Si ce standard n'intègre pas de description des procédés de fabrication, son modèle de référence intègre néanmoins plusieurs vues (Figure 4.14) : gestion des ressources et la définition du travail, l'organisation de l'avant travail (regroupe l'ordonnancement et la gestion de la distribution du travail), la gestion des informations relatives à l'exécution du travail (vue « pendant le travail ») explorées par les systèmes de suivi et d'analyse (vue « après vente »).

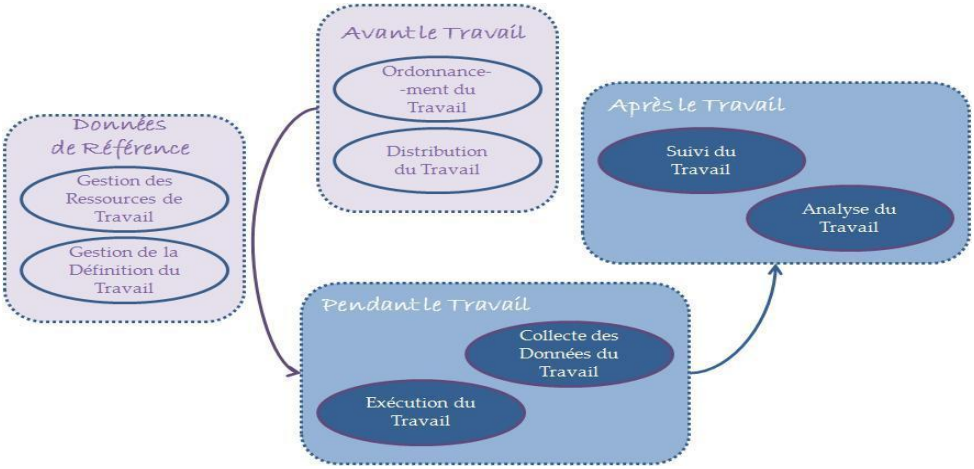


Figure 4.14. Méta-modèle des Activités de la norme ISA S-95-Part 3 (Vieille (b), 2000)

4.3.2.5 Synthèse Comparative des Différents Ontologies d'Entreprise

La mise en place d'une stratégie Lean repose sur l'organisation d'une chaîne de valeur regroupant des activités principales et porteuses de valeur et sur l'externalisation des activités secondaires.

La chaîne de la valeur est liée à l'organisation de l'ensemble de tous les processus métier de l'entreprise depuis ceux appartenant aux domaines décisionnel et de gestion de l'entreprise (stratégie, marketing, vente, logistique, relation client…) jusqu'aux processus du domaine de la production (définition du produit, définition production, ordonnancement, capacités et résultats de production). Une mise en relation entre les niveaux de gestion et de production à travers l'intégration du SI industriel dans le SI global de l'entreprise est une contribution à « l'écoulement » d'une chaîne de la valeur en interconnectant l'ensemble des activités métier en flux tirés dans une démarche Lean. C'est dans ce contexte que nous comparons les différentes ontologies que nous avons présentées en intégrant plus particulièrement les aspects intra et interentreprises (Tableau 4.1. Tableau Comparatif des Ontologies d'Entreprise).

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

	Secteurs Metier Couverts	Mono Metier	Inter Metiers – liaison avec SI Industriel	Intra Entreprise	Inter entreprises
Eo	Les concepts reliés aux : • Activités et processus • Organisation • Stratégie • Marketing	Elle modélise les processus et activités de tout le métier de l'entreprise	Elle se limite à l'organisation, la stratégie et le marketing. Pas de définition de la production	Pas uniquement	Possibilité de communiquer avec des partenaires à travers des modèles unifiées
Tove	L'ensemble des contraintes liées aux : • Actions • Ressources • Organisation • Objectifs • Produit • Services • Occurrence • Environnement extérieur	Elle prend en compte les actions, services et même la définition du produit. Elle est liée à plusieurs métiers	Elle modélise les ressources, l'organisation, les objectifs… mais pas le SI industriel	Elle présente uniquement des modèles d'information liés au métier et aux contraintes de l'entreprise concernée	Elle prend en considération l'environnement extérieur de l'entreprise mais ne spécifie ni les processus métier ni les échanges entre les partenaires dans un cadre de collaboration interentreprises
Psl	PSL définit les : • Échanges entre les processus industriels • Échange de connaissances entre les machines • Ensembles Activités/Processus • Objets • Instants (Timepoint)	Elle regroupe la définition des activités et processus industriels. Elle se focalise sur le seul métier de production (mono métier)	Elle ne considère pas les informations liées à la gestion de la commande client et n'offre pas de liaison entre gestion et production	Les modèles d'information qu'elle présente sont limités. Ils ne modélisent pas l'entreprise dans sa globalité	Elle définit les processus industriels mais ne prend pas en considération la modélisation des processus métier et collaboratifs
Isa s-95	ISA S-95 regroupe : • La définition Produit • La définition (Consignes) Production • Les résultats Production • La capacité de Production	Elle définit les activités et processus métier reliées à la production d'un produit ou service selon les spécifications clients	Elle définit une modélisation puissante en termes d'intégration du SI industriel avec le SI global de l'entreprise. Elle est cependant limitée au niveau de la modélisation inter métiers	Elle modélise les processus de production mais pas tous les processus métier de l'entreprise comme la gestion des clients, le marketing...	Les processus de production sont bien définis dans la norme ISA et prennent en compte la logistique, l'allocation des ressources, les besoins clients… La norme ISA S-95 peut modéliser des processus collaboratifs (entreprise ayant différents sites) mais reste limitée.

Tableau 4.1. Tableau Comparatif des Ontologies d'Entreprise

Notre comparatif montre que le standard ISA S-95 est le plus adapté à nos besoins. En effet, ce standard définit les processus de production de bout en bout et intègre l'organisation des ressources, l'ordonnancement de la production, la définition du produit. Ce standard n'est pas complet car il manque la gestion des clients, la définition de la stratégie et le marketing. Toutefois, ces fonctions peuvent être étendues, éventuellement, dans les phases de définition de l'ontologie ISA S-95. C'est pourquoi, dans le reste de nos travaux, nous allons utiliser le standard

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

ISA S-95 sous forme d'ontologie d'entreprise en y rajoutant des concepts métier de l'ontologie EO grâce à un « matching » d'ontologies. Le principe est d'enrichir l'ontologie ISA par les modèles d'information qui sont déjà définis dans EO.

4.4 Conclusion

Pour suivre les principes Lean et permettre une organisation agile des processus et flux industriels selon la demande, il faut également rendre les flux d'information agiles et les intégrer dans la chaîne de la valeur de manière à éviter les activités « non source de valeur ajoutée » au sein du SI et optimiser globalement l'organisation au plus juste mise en place. Or, le SI n'est pas considéré comme une activité principale source de valeur mais comme une activité de support. Son organisation est donc de fait déconnectée de l'organisation industrielle et n'entre pas dans la définition de la chaîne de la valeur. Le plus souvent organisé en silos métier, le SI regroupe une multiplicité de logiciels spécialisés ne permettant pas d'avoir un flux d'information transversal efficace (du fait des problèmes de communication entre ces silos). En outre, l'organisation d'un SI juxtaposant différents systèmes spécialisés selon les secteurs d'activité pose d'évidents problèmes d'interopérabilité tant au niveau syntaxique que sémantique. Ceci conduit à des gaspillages dans le SI (redondance de l'information dans les différents systèmes, tâches « inutiles » (au sens Lean) de médiation et de gestion des incohérences…) et à aligner les processus métier de l'entreprise sur les processus du SI. Ce dernier point conduit également à des gaspillages du fait de la superposition de deux modèles de flux distincts : les flux industriels suivant la chaîne de la valeur d'une part et les flux informationnels suivant la logique propre des composants du SI d'autre part.

Or la démarche Lean impose d'organiser l'ensemble des flux selon la chaîne de la valeur perçue par le client ce qui suppose que l'ensemble des systèmes support puissent communiquer et permettent de gérer le processus de production de bout en bout à partir des besoins du client selon un « flux majeur » correspondant à la chaîne de la valeur pour éviter les « gâchis » (Figure 4.15).

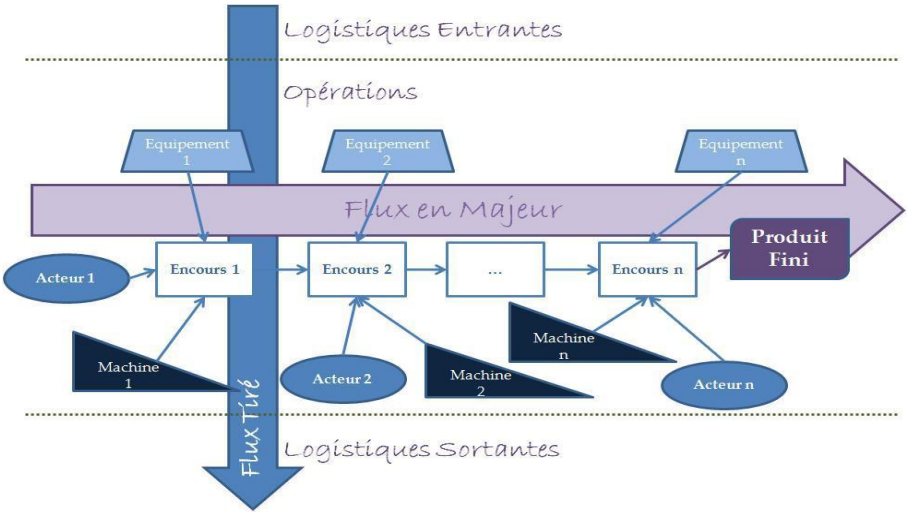


Figure 4.15. Organisation des Flux Physiques de l'Atelier en Flux Majeur

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

Nous avons présenté dans ce chapitre un état de l'art sur l'organisation du SI de l'entreprise puis avons défini les exigences en termes d'interopérabilité pour construire des flux d'information transversaux suivant les flux industriels. Nos recherches ont permis d'identifier des solutions offrant une interopérabilité technologique telles que les Architectures Orientées Services et celles pouvant supporter une interopérabilité sémantique telles que les ontologies métier. Parmi les différentes ontologies que nous avons présentées, le standard ISA S-95 permet de définir des modèles et une terminologie supportant les échanges entre systèmes métier différents.

Notre étude sur les architectures orientées services a également montré la pertinence de ce modèle pour donner de l'agilité au SI. En effet, le processus de composition de services permet de pouvoir créer de nouveaux processus dans une logique de réassemblage « bottom-up ».

Toutefois, aucune des solutions présentées ne permet de répondre totalement au besoin d'intégration métier impliquée par la démarche Lean. Pour lever ce verrou, nous proposons de coupler plus étroitement les espaces métier et technologiques en tirant parti des possibilités de composition des SOA en les transposant au niveau métier pour mettre en en place une architecture orientée services industriels qui s'aligne sur les objectifs métier de l'entreprise et la stratégie de production Lean. Ces services permettront une composition dynamique (ou pseudo-dynamique) métier définissant ainsi à la demande des processus non standardisés mais pouvant inclure des activités réutilisables (et éventuellement standardisées). Pour supporter la nécessaire vision transverse liée à la chaîne de la valeur Lean, ces services devront intégrer un référentiel ontologique (ontologie de services et des ontologies métier) permettant d'avoir une vision transverse cohérente sur tous les domaines métier de l'entreprise figurant dans la chaîne de la valeur (et en particulier sur le domaine de la production).

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

Chapitre 5 Architecture d'Intégration « Métier »

5.1 Introduction 77

5.2 Architecture Orientée Services industriels 78

5.3 Composition « Métier » 87

5.4 Champs d'application des Services Industriels 95

5.5 Conclusion 106

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

5.1 Introduction

Le développement d'une stratégie Lean conduit à une réorganisation des processus selon la chaîne de la valeur pour éviter tout gaspillage. La mise en place de cette stratégie s'accompagne souvent d'un recentrage métier (pour ne conserver que les activités réellement créatrices de valeur) et d'un développement de collaboration interentreprises (pour externaliser les activités secondaires). La logique d'écoulement des flux le long de la chaîne de valeur en flux tiré par la demande du client impose de disposer d'un outil de production réactif et agile d'une part et d'organiser efficacement la gestion des approvisionnements auprès de partenaires d'autre part.

Pour permettre la réorganisation des activités de l'entreprise selon la chaîne de la valeur, on peut recourir à des méthodes de modélisation. Toutefois, notre état de l'art a montré que les approches top-down de ces dernières, leur complexité et le recours à des ensemble de modèles génériques conduisent à des organisations standardisées, peu flexibles et peu agiles et ne permettant pas toujours de s'adapter au fonctionnement métier de l'entreprise.

De plus, la réussite d'une stratégie Lean suppose que l'entreprise puisse disposer d'une vision globale sur son organisation et ses processus et que l'organisation du SI puisse permettre de construire (à la demande) un flux d'information / décision transverse performant, doublant le flux physique de production. Or les systèmes d'information d'entreprise sont structurés en silos métier et regroupent un grand nombre de logiciels métier dédiés n'offrant que peu de possibilités de configuration pour les aligner sur le fonctionnement réel de l'entreprise. Cette organisation en silos ne permet pas de faire communiquer ces briques métier (sauf à développer à façon de coûteuses passerelles) et donc ne permet pas de supporter la vision transverse induite par la chaîne de valeur.

Adapter le SI pour supporter efficacement une stratégie Lean suppose donc de lever plusieurs verrous :

- Organiser le SI selon une vision transverse, en cassant donc la segmentation induite par les différentes briques métier. Ceci suppose de prendre en compte la gestion de l'interopérabilité des niveaux « métier » et technologiques
- Rendre le SI agile, c'est-à-dire permettre de recomposer facilement des processus métier en suivant la logique industrielle (et non plus la logique de processus « informatique »)

Au niveau technologique, les architectures orientées services (SOA) permettent de résoudre :

- les problèmes d'interopérabilité technologique grâce à la séparation entre spécifications d'interface et traitements d'une part et grâce à l'intégration de nombreux standards d'autre part
- les problèmes d'agilité du SI grâce aux processus de publication / sélection / composition / orchestration de services réutilisables qui permettent de « composer » puis exécuter des workflow en fonction des besoins

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

Partant de ce constat, notre contribution vise à **améliorer l'alignement du SI sur le métier de l'entreprise et garantir l'interopérabilité entre systèmes métier différents en introduisant une dimension métier aux architectures orientées services** pour construire une architecture orientée services industriels. Cette approche, qui tire parti de l'agilité et de l'interopérabilité des architectures orientées services classiques, suppose de lever plusieurs verrous scientifiques :

- structurer les propriétés fonctionnelles et non fonctionnelles des services industriels pour permettre de les sélectionner efficacement en fonction des besoins
- organiser une composition « métier » capable d'intégrer les contraintes non fonctionnelles pour permettre de composer des processus suivant effectivement la chaîne de la valeur
- organiser un middleware permettant de faire interopérer cette architecture orientée services industriels avec le SI traditionnel de l'entreprise de manière à limiter les coûts de déploiement

Notre architecture orientée services industriels repose sur la vision suivante. L'entreprise doit définir des services métier alignés sur les objectifs métier et la stratégie de l'entreprise (en tenant compte des besoins des clients, des partenaires participant à l'opération de la production, des délais imposés et des contraintes industrielles). Les processus métier sont définis dans une logique de flux tiré à partir d'une orchestration dynamique de ces services industriels pour s'adapter rapidement aux changements de l'environnement de production. L'interopérabilité métier sera supportée par une ontologie pivot basée sur le standard ISA S-95.

Dans ce chapitre, nous présentons d'abord notre architecture orientée services industriels avant de spécifier une taxonomie des services industriels et le processus de composition métier. La spécification du middleware support de cette architecture sera quant à lui développé dans le chapitre suivant.

5.2 Architecture orientée Services industriels

Comme nous l'avons présenté dans le Chapitre 3, une entreprise est traditionnellement modélisée selon des fonctionnalités métier et des flux qui circulent entre elles. En revanche, une entreprise Lean adopte une approche transversale en organisant les processus de bout en bout selon la chaîne de la valeur. Pour offrir un support efficace à cette stratégie, notre architecture orientée services industriels couple étroitement flux de production et flux d'information. Le SI lui-même doit donc s'organiser selon cette vision transverse et s'aligner sur l'organisation métier.

Dans une démarche Lean, le SI global de l'entreprise doit être décentralisé et intégrer le SI industriel (rendre l'information accessible depuis l'atelier, permettre une prise de décision « horizontale » en cas de panne, assurer une meilleure coordination des opérations). Comme, l'entreprise peut être amenée à collaborer avec des partenaires en vue de satisfaire les commandes clients, le SI doit être ouvert, agile et interopérable.

Assurer l'interopérabilité du SI, dans notre contexte Lean, impose de gérer les différents niveaux d'interopérabilité :

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

- Le niveau d'affaire permet d'harmoniser l'organisation globale du cadre collaboratif.
- Le niveau processus intègre la définition des processus internes et les associe dans les processus communs, support de la collaboration selon une organisation en flux tiré.
- L'interopérabilité des services assure une interopérabilité technologique (syntaxique et sémantique) afin de rassembler des fonctions des différentes applications
- L'interopérabilité des données permet de faire communiquer des modèles de données différents d'une application à une autre et définir des flux d'information cohérents

Assurer l'agilité « métier » suppose de pouvoir construire à la demande des processus selon la logique de flux tiré en privilégiant la réutilisation de composant et en assurant la cohérence de bout en bout.

Comme nous l'avons déjà mentionné, la démarche d'Architecture Orientée Services permet de concevoir des services réutilisables et prévoie une structure souple et modulaire du SI rendant le SI agile et ouvert pour supporter les collaborations interentreprises. Cette architecture apporte l'interopérabilité entre les composants technologiques de l'entreprise mais ne tient pas compte des problèmes d'interopérabilité conceptuels et organisationnels. Nous proposons de transposer cette démarche au niveau métier. Notre solution repose sur la définition d'un service industriel. Ce service industriel est construit sur des services traditionnels enrichis par des propriétés fonctionnelles et non fonctionnelles liées à l'organisation du système de production de l'entreprise... La prise en compte d'informations fonctionnelles (ce que le service industriel peut faire) et non fonctionnelles (comment il le fait) de niveau métier permettra de gérer une composition métier efficace. De manière similaire, nous proposons un middleware associé construit sur un bus de services d'entreprise classique, (Figure 5.1). Grâce à l'intégration de propriétés non fonctionnelles métier et à une ontologie pivot, cette architecture supporte l'interopérabilité entre les facettes métier et entre les niveaux métier et technologique.

Le middleware support de notre architecture orientée services industriel est dénommé « bus de services Lean ». Il repose sur un Bus de Service d'Entreprise (ESB), enrichi par une couche sémantique définie à travers l'ontologie pivot ISA S-95. L'intégration de cette couche de sémantique industrielle permet l'intégration du SI industriel dans le SI global de l'entreprise et assure l'interopérabilité « industrielle ». Les processus métier de l'entreprise sont également organisés en flux tiré respectant ainsi l'organisation de base du Lean. Ceci permet d'aligner le SI industriel sur les processus de l'entreprise contribuant à la chaîne de la valeur et permet un échange d'information « inter-métiers » grâce aux possibilités de composition / orchestration de services. Cette architecture offre aussi un support à l'organisation de processus collaboratifs en intégrant les contraintes d'interopérabilité industrielle.

En effet, notre architecture orientée services industriels permet de gérer les contraintes de médiation entre les vues technologiques et métier du SI de l'entreprise. Elle prend également en compte les indicateurs de qualité associés aux spécifications clients : le composant de Monitoring et Gouvernance assure le suivi des processus en collectant des évènements techniques et permet la supervision des activités métier en gérant les indicateurs clés de performance. Ces indicateurs

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

appelés KPI (Key Performance Indicators) sont ensuite utilisés par des outils de BAM (Business Activity Monitoring). Ces outils permettent la mise en corrélation des évènements techniques et métier, une analyse d'impact et une analyse prédictive à partir de l'historique. Cette technologie, présente dans une SOA classique, est enrichie avec des notions métier introduites à travers l'ontologie ISA S-95. Ainsi, la couche de monitoring relève les anomalies, invoque les services de pilotage et fait appel aux processus de correction (reprises sur incident) (Figure 5.1). Les services de pilotage contribuent à la supervision des processus de production selon les modèles de données de l'ontologie ISA S-95 et permettent le suivi des délais, de la qualité des produits et des temps de réponse des composants informatiques du SI.

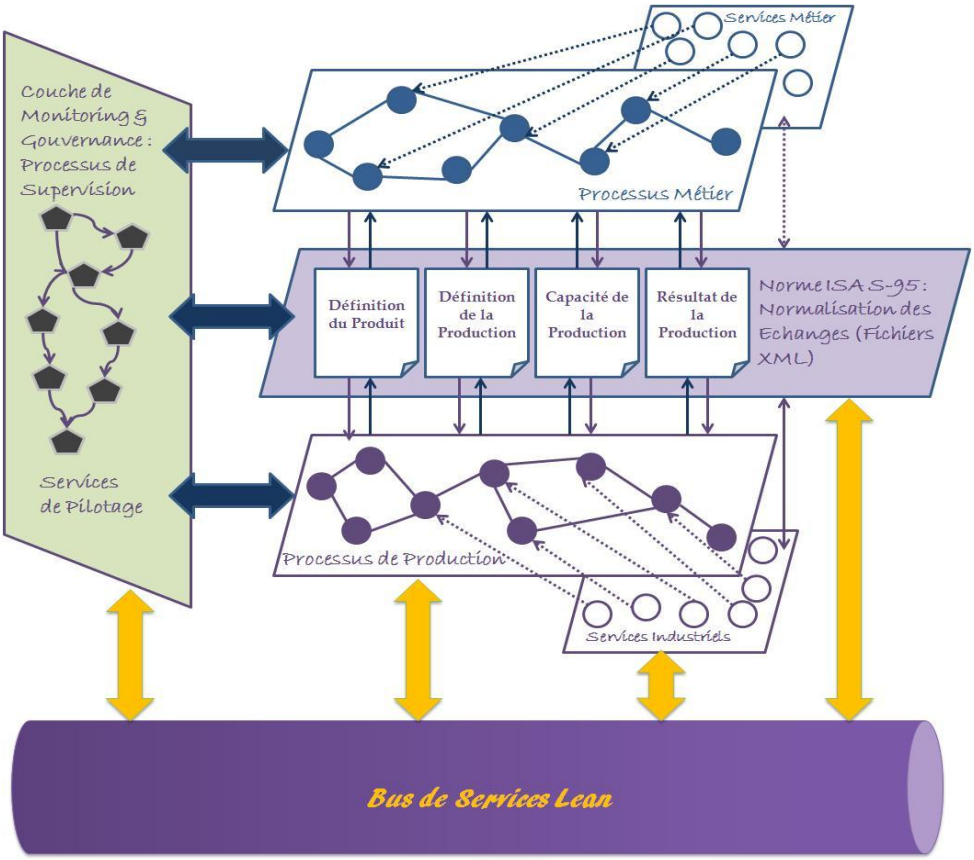


Figure 5.1. Architecture Orientée Services Industriels

Le système d'orchestration/composition des services industriels permet de constituer des processus métier suivant une réelle logique en flux tiré. Il construit une chaîne contractuelle de services industriels au-dessus des services informatiques d'une Architecture Orientée Services classique. Les services industriels que nous avons définis regroupent des propriétés fonctionnelles et non fonctionnelles. Les propriétés fonctionnelles sont liées aux produits et aux contraintes matérielles (ressources humaines, matières nécessaires…) et aux règles de gestion. Les propriétés non fonctionnelles permettent de définir les contraintes de qualité, de sécurité et de maturité des processus nécessaires pour définir le programme de production et l'organisation des approvisionnements.

Cette logique de définition des services supporte l'organisation à la demande de processus de production pour réaliser des produits customisés en tenant compte des délais de livraison définis

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

par le client final puisque les service intègrent la définition de l'ensemble des opérations de production. Ces opérations (associées à la définition du programme de production) incluent la définition des ressources, des contraintes d'exécution (succession, disjonction), des objectifs (optimisation des ressources, ajustement de la durée du cycle, respect des délais, réduction des encours) ce qui permet de les utiliser pour construire la chaîne de services en recherchant pas à pas les services permettant de produire ou approvisionner les composant nécessaires à leur exécution supportant ainsi le mécanisme de composition métier.

Dans la Figure 5.2, nous présentons une chaîne de services industriels composée puis exécutée lors de l'enregistrement d'une commande client pour permettre de définir le programme de production. Pour ce faire, le processus de composition métier utilise le référentiel de données regroupant les informations liées au produit (la référence du produit, la nomenclature, les procédés de fabrication…) et un ensemble de « pratiques » que nous utilisons pour définir la logique d'appel des services industriels.

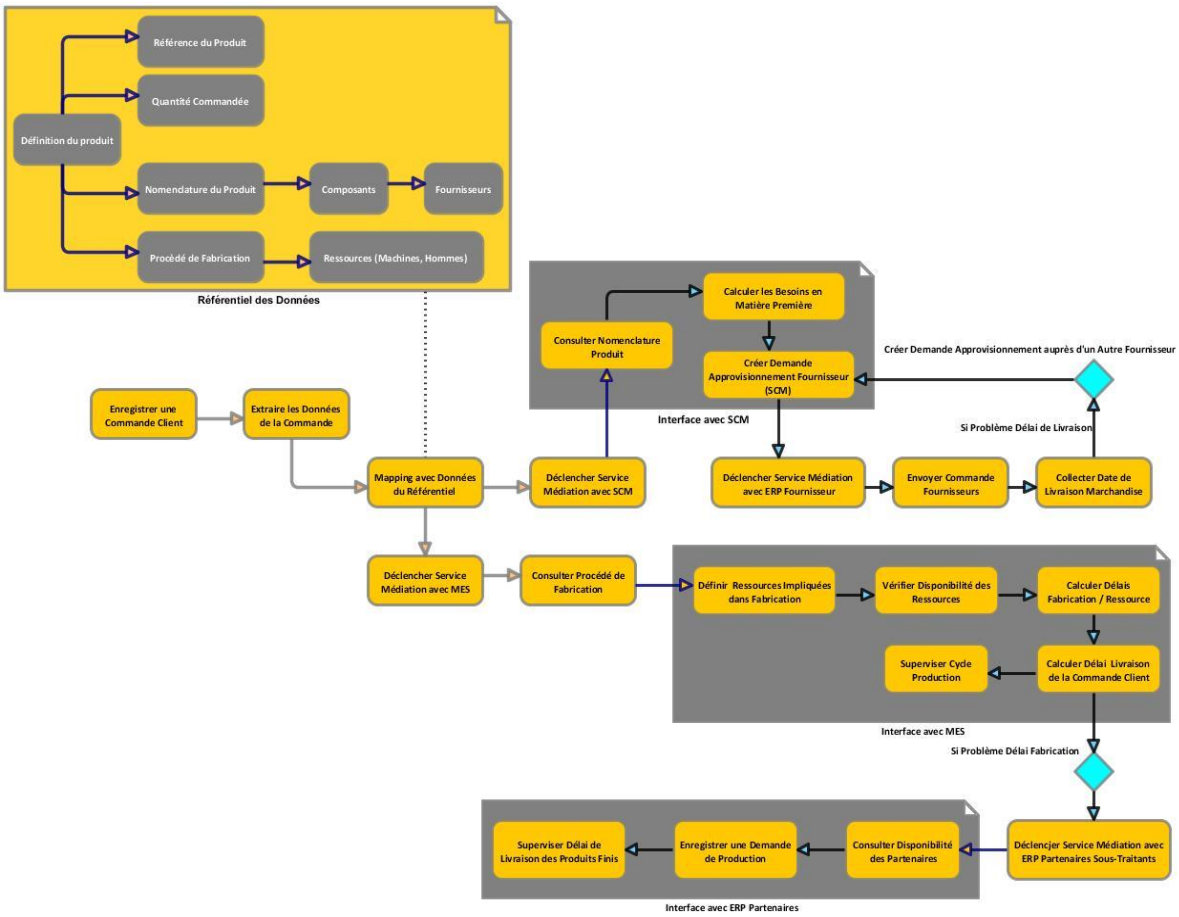


Figure 5.2. Exemple de Services Industriels

Cette architecture de services industriels ne se substitue pas aux composants du SI de l'entreprise mais permet de créer dynamiquement des processus transversaux répondant aux besoins. Ces services invoquent ensuite les composants du SI traditionnel et gèrent les échanges avec eux. Dans notre exemple, enregistrer une commande dans l'ERP déclenche l'extraction des données de la commande dans un fichier XML. Un service de mapping permet d'assurer une première médiation sur les informations brutes de la commande en les « standardisant » selon le

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

référentiel des données produit. D'autres médiations permettent ensuite d'assurer la cohérence des échanges avec d'autres composants du SI, par exemple :

- Médiation avec le logiciel de SCM (Supply Chain Management) et les ERP des fournisseurs pour définir les contraintes d'approvisionnement (les contraintes de sécurité n'étant pas traitées dans nos travaux de recherche, elles n'ont pas été exposées ici) : un service consulte la nomenclature du produit, calcule les besoins en matières premières tenant compte des quantités commandées. Il fait appel au service de médiation avec le système SCM pour retrouver les informations du fournisseur de la matière première. Une fois le fournisseur trouvé, un service enregistre la commande et fait appel au service de médiation avec l'ERP du fournisseur qui va collecter la date de livraison prévue de la marchandise. Si cette date ne permet pas de produire en respectant l'exigence donnée par le client, un service de négociation permet de retourner dans la base des données SCM pour consulter les autres fournisseurs de la même matière première et relancer le service de collecte des dates de livraison jusqu'à satisfaction.
- Médiation avec le MES (Manufacturing Execution System) : un service consulte les procédés de fabrication du produit et définit les ressources impliquées. Un autre service va vérifier la disponibilité des ressources et calculer les délais de fabrication par ressource. Ces résultats de calcul vont être utilisés par un service qui calculera le délai de tout le processus de fabrication et diffusera une date estimée de livraison de la commande. Si cette date ne correspond pas au besoin du client, on pourra alors déclencher un appel à la sous-traitance auprès des partenaires. Dans ce cas, un service de médiation avec les ERP Partenaires va consulter la disponibilité de leurs ressources et enregistrer une demande de production. D'autres services sont lancés en parallèle à la fabrication pour superviser les délais de fin de production annoncés et les délais de livraison des partenaires.

Le processus de composition métier organise et utilise de nombreuses informations. Pour définir de manière cohérente un service industriel, nous proposons la définition d'une taxonomie avant de construire le modèle de service industriel.

Pour illustrer notre démarche de construction de services industriels et de composition métier, nous nous appuierons sur un exemple de production de produit à variantes, des jouets pour enfants, que le client peut configurer.

5.2.1 Taxonomie des Services Industriels

La taxonomie du service industriel est une classification des données liée au système de production et utilisée pour indexer l'information par sujet. Pour définir la taxonomie d'un service industriel, nous avons opté pour un raisonnement « Produit / Service » suivant la chaîne de la valeur. Nous nous sommes basés sur la logique de production et avons introduit deux visions : la vision matérielle et la vision immatérielle. La vision matérielle est liée au produit et aux ressources nécessaires pour sa fabrication. La vision immatérielle définit les opérations de production du produit fini en prenant en compte les services et l'information liées aux processus de production. Dans la suite de ce chapitre, nous retenons un jeu de formes. Ce jeu offre plusieurs formes de

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

tailles et couleurs différentes à placer sur un support. Le client peut choisir le niveau de complexité du jeu en ajustant les formes, tailles et choix de couleur.

La vision matérielle associée au jeu permet de décrire l'ensemble des pièces qui le compose (par exemple, le support et trois pièces de formes géométriques et de couleurs différentes). La vision immatérielle permet de décrire les opérations associées (par exemple une opération d'assemblage permettant de positionner les pièces sur le support, des opérations de contrôle qualité et de conditionnement)

5.2.1.1 Vision Matérielle

Dans la vision matérielle du service industriel (illustrée dans Figure 5.3), nous nous basons sur une logique orientée « produit » qui porte sur les ressources nécessaires aux activités de production, les produits (fini, semi fini), les matières premières et intègre des informations sur l'environnement de production.

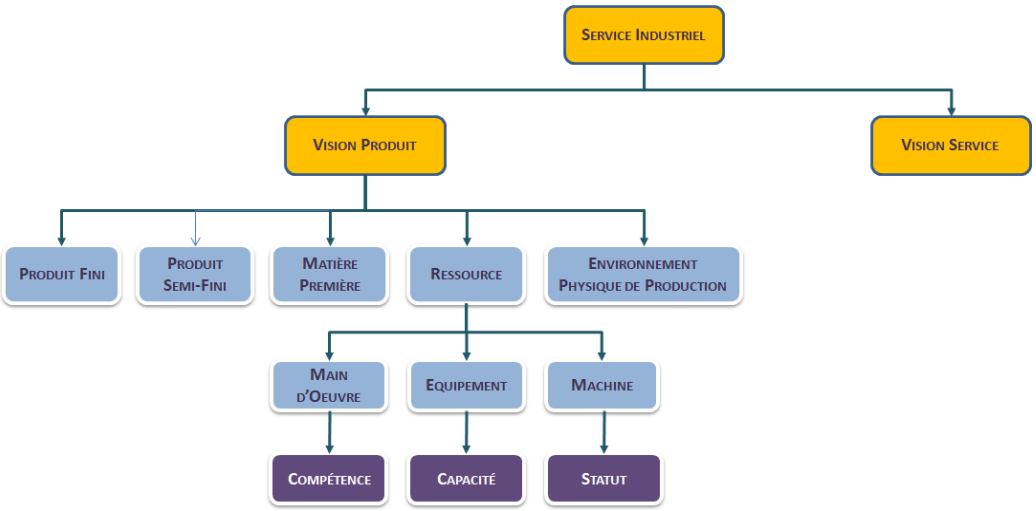


Figure 5.3. Taxonomie du Service Industrielle - Vision Matérielle

Les ressources sont représentées par leur état (statut), capacités et compétences selon qu'il s'agisse de machines, d'équipements ou de personnels. Cette phase nous permet de modéliser le produit et les phases de transformation en impliquant les éléments figurant dans la chaîne de la valeur.

Dans notre exemple, le jouet pour enfant est composé d'une palette vide (le support) et de trois pièces de formes et de couleurs différentes. Sa production nécessite les ressources suivantes : un contrôle de qualité des pièces détachées, une machine d'assemblage pour positionner les pièces sur la palette et une machine d'emballage. En outre, pièces et produits sont acheminés par un tapis roulant.

5.2.1.2 Vision Immatérielle

La vision immatérielle (illustrée dans Figure 5.4), repose sur la notion de service liée à la production. Cette vision regroupe les facettes du SI de l'entreprise et leurs contraintes de mise en œuvre, la logique de gestion, les processus de production et leur contrôle d'exécution.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

La description des informations de production est organisée selon différentes dimensions :

- la logique de gestion intègre la logique de production, à savoir en flux tiré ou flux poussé et de la gestion des prix
- le processus de production intègre la description des opérations associées à des indicateurs de qualité, et à la description des processus automatisés pour lesquels nous spécifions les interfaces, les contraintes d'exécution et un processus de gestion de qualité.
- le contrôle de l'exécution intègre la gestion d'ordonnancement et les règles d'approvisionnement.
- le SI intègre les composants logiciels liés à la production, les contraintes de médiation et de sécurité aux différents niveaux de l'entreprise.

Cette taxonomie de service industriel permet de structurer la description fonctionnelle et non fonctionnelle des services et donc de structurer l'organisation des annuaires. Ceci permet d'améliorer les fonctions de sélection et de composition de ces services.

Dans notre exemple, les opérations d'assemblage d'un jouet pour enfant sont définies comme suit :

- Le contrôle qualité vérifie l'état de la palette et des pièces qui sont acheminées sur les différents postes
- La palette est acheminée vers la machine d'assemblage (grâce à un tapis roulant)
- La machine d'assemblage des pièces dépose les pièces de différentes couleurs et formes géométriques aux emplacements fixés sur la palette
- Le produit fini est acheminé vers le poste de contrôle de qualité pour vérifier l'état du produit fini
- Les produits sont ensuite acheminés sur la machine d'emballage.

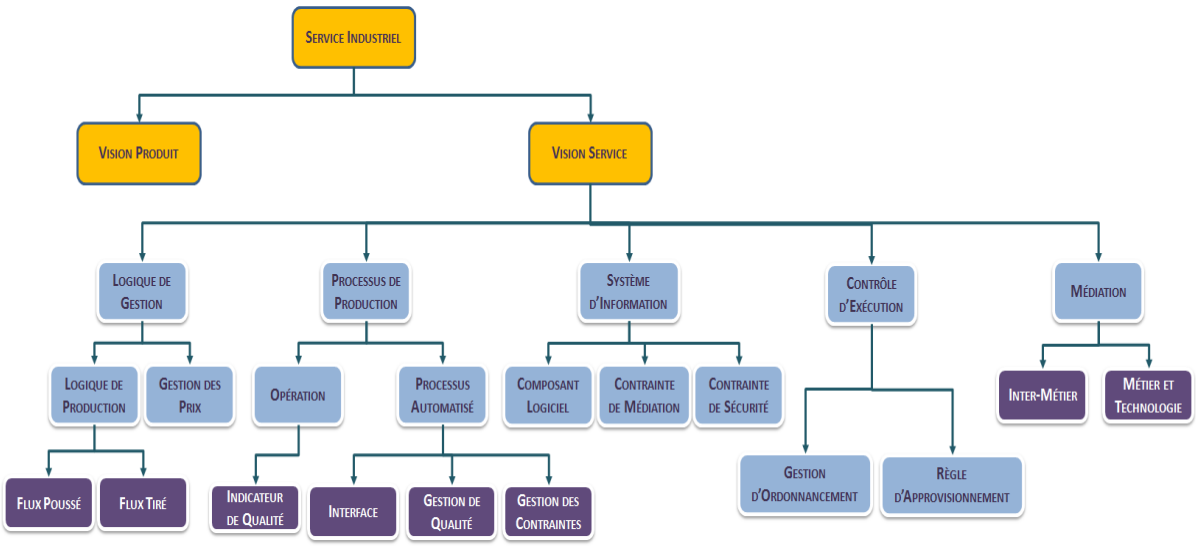


Figure 5.4. Taxonomie du Service Industrielle - Vision Immatérielle

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

5.2.2 Modèle du Service Industriel

Le service industriel (illustré dans la Figure 5.5) regroupe une interface et un comportement. Son organisation permet de structurer les propriétés fonctionnelles (définition du produit, des données de la production) et non fonctionnelle (gestion des ressources…).

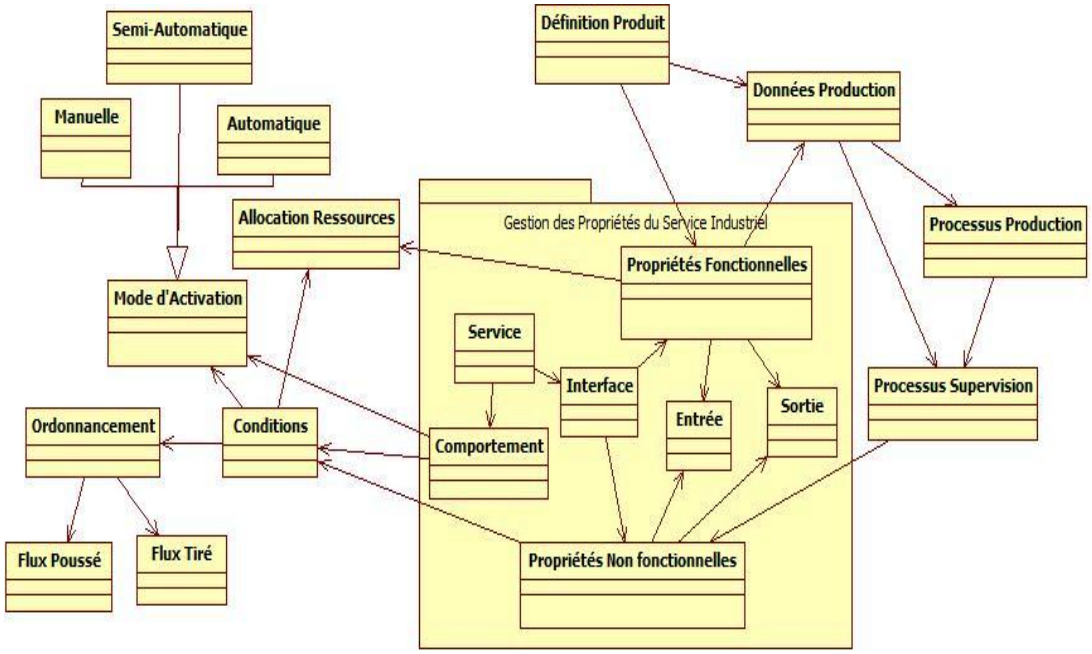


Figure 5.5. Modèle du Service Industriel

Les données de production, associées aux processus physiques de production et aux processus de supervision, sont également intégrées à la définition du produit (disponibilité des ressources, mode d'ordonnancement…).

Les métadonnées reliées aux propriétés fonctionnelles font l'originalité du modèle de service que nous proposons : la définition du produit, les données de production et l'allocation des ressources représentent la base de la conception des processus à valeur ajoutée dans une démarche Lean. Les propriétés non fonctionnelles sont définies à travers l'interface du service pour participer à des processus de supervision et paramétrer les conditions d'activation des services. La définition du comportement du service détermine les conditions à respecter. Ces conditions permettent à leur tour de gérer les allocations de ressources et l'ordonnancement de la production en flux tiré ou poussé. Nous avons retenu différents modes d'activation d'un service : l'auto-activation, l'activation semi-automatique et l'activation manuelle.

Pour résumer, les propriétés fonctionnelles du service industriel représentent les opérations du service, « ce qu'il est capable de faire » et les propriétés non fonctionnelles décrivent la qualité du service, le temps de réponse, la sécurité…

5.2.3 Description du Registre des Services Industriels

La construction d'une chaîne de services industriels est réalisée grâce à un processus de sélection de services permettant de prendre en compte les propriétés fonctionnelles (produit, contraintes

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

matérielles, règles de gestion…) et non fonctionnelles (contraintes sur la qualité, sécurité, maturité des processus…) puis grâce à un processus de composition.

L'avantage des services industriels réside dans l'unicité du registre UDDI qui regroupe toutes les informations fonctionnelles et non fonctionnelles des différents services, comme l'illustre la Figure 5.6.

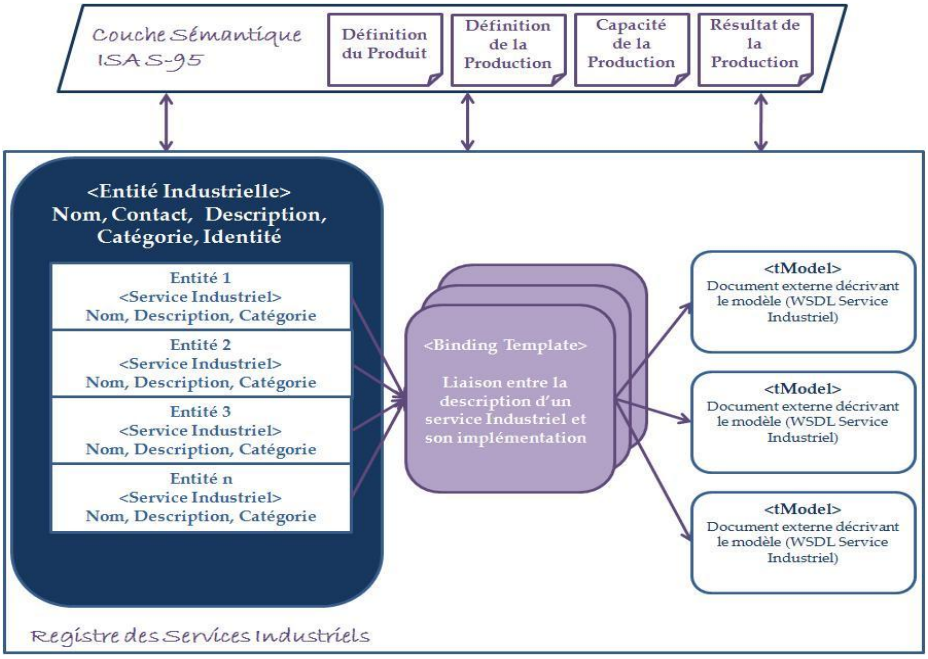


Figure 5.6. Annuaire UDDI des Services Industriels

La publication des services industriels repose sur notre taxonomie et est enrichie par une ontologie pivot. En effet, le service industriel doit supporter l'interopérabilité métier. Pour répondre à ce verrou, nous enrichissons l'annuaire de services classique par une couche sémantique industrielle intégrant notre taxonomie et reposant sur le standard ISA S-95 qui définit des concepts liés au produit et à la production. La couche sémantique permet de simplifier les échanges entre les différents métiers et d'intégrer le système manufacturier. La définition des concepts de la norme ISA S-95 permet de décrire les propriétés des services industriels concernant la définition du produit et l'organisation de la production.

Le registre des services industriels regroupe tous les services industriels classifiés par entités industrielles. Une entité industrielle est une structure de données de haut niveau qui contient un ou plusieurs services d'un même fournisseur. Elle regroupe un ensemble d'attributs. Chaque attribut est composé d'un ou plusieurs services industriels. Le niveau « Binding Template » décrit la liaison entre un service industriel et son implémentation, à savoir les protocoles, les adresses IP… Il regroupe une clé unique UDDI, une clé unique du service, une description, un point d'accès, la liste des tModels. Ceux-ci représentent des documents externes décrivant le modèle de service. Ils sont définis à travers une clé unique UDDI, un nom, une description et un pointeur vers les documents décrivant les modèles de services.

Cette organisation facilite l'identification des services pour décrire une chaîne contractuelle pour définir un cadre global de la collaboration. Une fois sélectionnés, les services industriels sont

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

analysés afin de compléter la chaîne obtenue avec les services « technologiques » liés à la médiation et aux composants de sécurisation.

S'agissant de relations entre entreprises, les contraintes et préférences relatives aux propriétés fonctionnelles et non fonctionnelles sont intégrées dans des contrats de niveaux de services (Service Level Agreement – SLA) en définissant une chaîne « contractuelle ».

Le SLA est un document qui définit la qualité de service. Ce contrat intègre un formalisme d'accord négocié entre deux parties (le fournisseur et le consommateur) pour un service identifié fonctionnellement en garantissant un niveau de disponibilité de service, de performance… La qualité de services regroupe plusieurs paramètres de qualité associés au fonctionnement du service : nous retenons les éléments liés à l'exécution et à la sécurité. Les paramètres de la qualité de service liés à l'exécution sont le temps de réponse, la disponibilité du service, l'accessibilité aux requêtes émises par l'utilisateur, la réussite pour les messages qui ont reçu une réponse et la conformité des documents WSDL décrivant le service et ses spécifications. Les paramètres liés à la sécurité sont le chiffrement, l'authentification et le contrôle d'accès.

Dans notre exemple, nous supposons que l'entreprise recherche des sous-traitants pour fabriquer les composants, à savoir les palettes et les pièces de différentes formes et couleurs. En effet, l'entreprise souhaite intégrer des pièces en plastique et en bois traitées de manière écologique et ne dispose pas des machines permettant de fabriquer ces pièces. Elle pourra faire sa sélection en privilégiant une même stratégie de production (en flux tiré) et en demandant un niveau de maturité de fabrication et de respect des délais de livraison de la matière première, garant d'un certain niveau de qualité pour le produit et de respect des processus de production…

Pour cela, la taxonomie permet de sélectionner les services adaptés en fixant à la fois des valeurs :

- pour les propriétés fonctionnelles : matériaux utilisés (dans notre cas plastique recyclé, vernis écologique pour les pièces en bois), quantité des produits à fabriquer, quantité de palettes et de pièces à commander, paramétrage des machines d'assemblage et d'emballage et du contrôle de qualité, temps total de production par rapport à la demande client…
- pour les propriétés non fonctionnelles : qualité des pièces, des palettes et du produit fini, temps d'exécution des machines, état des machines…

Après avoir défini la taxonomie des services industriels et l'organisation du registre, il importe de définir les propriétés fonctionnelles et non fonctionnelles du service industriel. Nous présentons, ensuite, la composition métier.

5.3 Composition « Métier »

La stratégie Lean repose sur la mise en place d'une organisation agile de la production en flux tiré de manière à suivre le plus exactement possible la demande. Pour permettre une reconfiguration à la demande des ressources de la production, le SI doit être lui aussi agile et s'aligner sur l'organisation et le métier de l'entreprise. Or, comme nous l'avons vu dans le chapitre 4 de l'état de l'art, le SI d'entreprise est très complexe et est constitué de briques métier génériques,

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

obligeant ainsi l'organisation métier de l'entreprise à s'aligner sur l'organisation du système d'information. Pour lever ce verrou, nous avons défini des services industriels qui embarquent données et traitements répondant aux contraintes métier de l'entreprise. La définition d'une taxonomie nous permet également de structurer ces connaissances métier.

Pour rendre le SI métier agile (et donc lever le deuxième verrou scientifique que nous avons identifié), nous proposons de tirer partie des connaissances structurées grâce à cette taxonomie de service pour proposer un algorithme permettant de composer dynamiquement des processus métier en fonction des demandes et de supporter des chorégraphies de services industriels dans une logique de flux tiré, adoptant en cela la stratégie Lean d'organisation selon les flux de la valeur.

Cette approche de composition métier est directement inspirée des architectures orientées services. En effet, la mise en place d'une Architecture Orientée Services permet l'intégration des services et des systèmes distribués pour construire de nouveaux services personnalisés utilisables par les applications ou par d'autres services. Si un client émet des exigences particulières et différentes de celles prises en compte par les services habituels, l'Architecture Orientée Services offre la possibilité de combiner des services existants pour satisfaire cette nouvelle demande. Ce concept est appelé « composition de services ». Il a été défini comme « la capacité d'offrir des services à valeur ajoutée en combinant des services existants offerts par différentes organisations » (Casati & Shan, 2001). Le service qui résulte du processus de composition des services est appelé service composite (Alonso, Casati, Kuno, & Machiraju, 2004). Les services composites sont donc définis de manière récursive comme une agrégation des services élémentaires et/ou de services composites (Kopp, Mietzner, & Leymann, 2009).

Ainsi le processus de composition de services vise à faire « interopérer », interagir et coordonner plusieurs services pour la réalisation d'un objectif. Les travaux de ce domaine définissent trois angles pour décrire la coordination : l'interface de comportement, l'orchestration et la chorégraphie (Charif, 2007). Les solutions de composition peuvent être classées selon deux axes :

- Des propositions manuelles, semi-automatiques ou automatiques : elles sont définies en fonction du degré de participation de l'utilisateur dans la définition du schéma de composition.
- Des propositions dynamiques ou statiques : elles sont définies selon la sélection des services et la gestion du flot.

La composition est dite statique quand elle est définie au niveau de la conception, i.e. au moment où l'architecture est définie et le système conçu. Les services composites sont préalablement choisis et reliés réalisant ainsi la gestion des flux.

La composition dynamique sélectionne les services et les compose à la volée en fonction des besoins formulés par l'utilisateur (Osman, Thakker, & Al-Dabas, 2005). Cette composition offre la possibilité de réaliser des applications flexibles et adaptables en sélectionnant et combinant les services de manière appropriée sur la base de la requête de l'utilisateur. Elle tient ainsi compte des applications qui n'ont pas été définies lors de la conception pour les intégrer dans

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

l'architecture (Charif, 2007). La composition dynamique de services est essentielle quand les demandes des clients sont variables et personnalisées. C'est pourquoi, nous proposons de prendre en compte cette solution pour la mettre en œuvre dans une approche Lean Manufacturing.

Nous avons retenu une stratégie de composition « au plus juste » en flux tiré. Pour cela, le processus métier est construit après sélection du service industriel correspondant au besoin du client (dans notre exemple il s'agirait du service associé au produit jeu de formes). Le processus de composition construit une chaîne de valeur permettant de fabriquer effectivement le produit. Le processus débute donc par l'analyse des propriétés non fonctionnelles de ce service pour extraire les opérations nécessaires pour le fabriquer. Ces opérations sont ensuite organisées dans une liste « en flux tiré », c'est-à-dire que les opérations sont insérées dans l'ordre inverse de fabrication. Pour chaque opération de la liste on extrait les matières / produits semi-finis qui sont nécessaires puis on relance récursivement le processus de sélection des services industriels associés à ces composants puis le processus de composition métier sur les services retenus. De cette manière les sous-processus associés à la fabrication / approvisionnement des composants peuvent être intégrés dans l'organisation de la chaîne de la valeur.

Ce processus de composition métier (voir la Figure 5.7), est construit à partir de trois services principaux : le service de sélection, le service de composition et le service de médiation. Le service de sélection récupère la requête métier. Lorsque la requête est issue d'une brique du SI de l'entreprise, le service de sélection fait appel au service de médiation. Celui-ci analyse la requête en mappant les balises XML figurant dans la requête avec les balises standardisées issues de la taxonomie du service industriel. Une fois la requête « standardisée », le service de sélection identifie ensuite les services industriels correspondant aux propriétés fonctionnelles et non fonctionnelles de la requête. Ceci permet entre autre de prendre en compte les stratégies de gestion de flux (flux poussés ou flux tirés) dans le processus de sélection des services et donc de n'assembler que des services ayant une logique de gestion compatible.

Le service de médiation a un rôle capital dans le processus de composition métier. En effet, il permet :

- de faire interopérer les différents logiciels du SI qui produisent les données nécessaires à l'exécution des services. Pour cela, nous proposons un processus réalisé en plusieurs étapes :
    - Récupération de données à partir d'un logiciel métier : Les données sont extraites en exportant des tables de ces logiciels en format CSV. Ces fichiers CSV sont ensuite transformés en descriptions XML.
    - Transformation syntaxique des données selon le format pivot : Les descriptions XML sont analysées puis remplacées par des balises standards respectant notre taxonomie
    - Transformation selon la représentation cible : la forme standard est à nouveau parsée selon les règles de représentation des données dans la brique cible, puis la

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

nouvelle description XML est transformée en ficher CSV importé ensuite dans la base de données du logiciel cible.

- d'interpréter les données échangées ou décrivant le service en consultant la taxonomie du service et le référentiel des données de l'ontologie pivot associée aux différents domaines métier de l'entreprise. Une même stratégie de parsing permet d'adapter les balises utilisées dans la description des données au contexte métier visé.

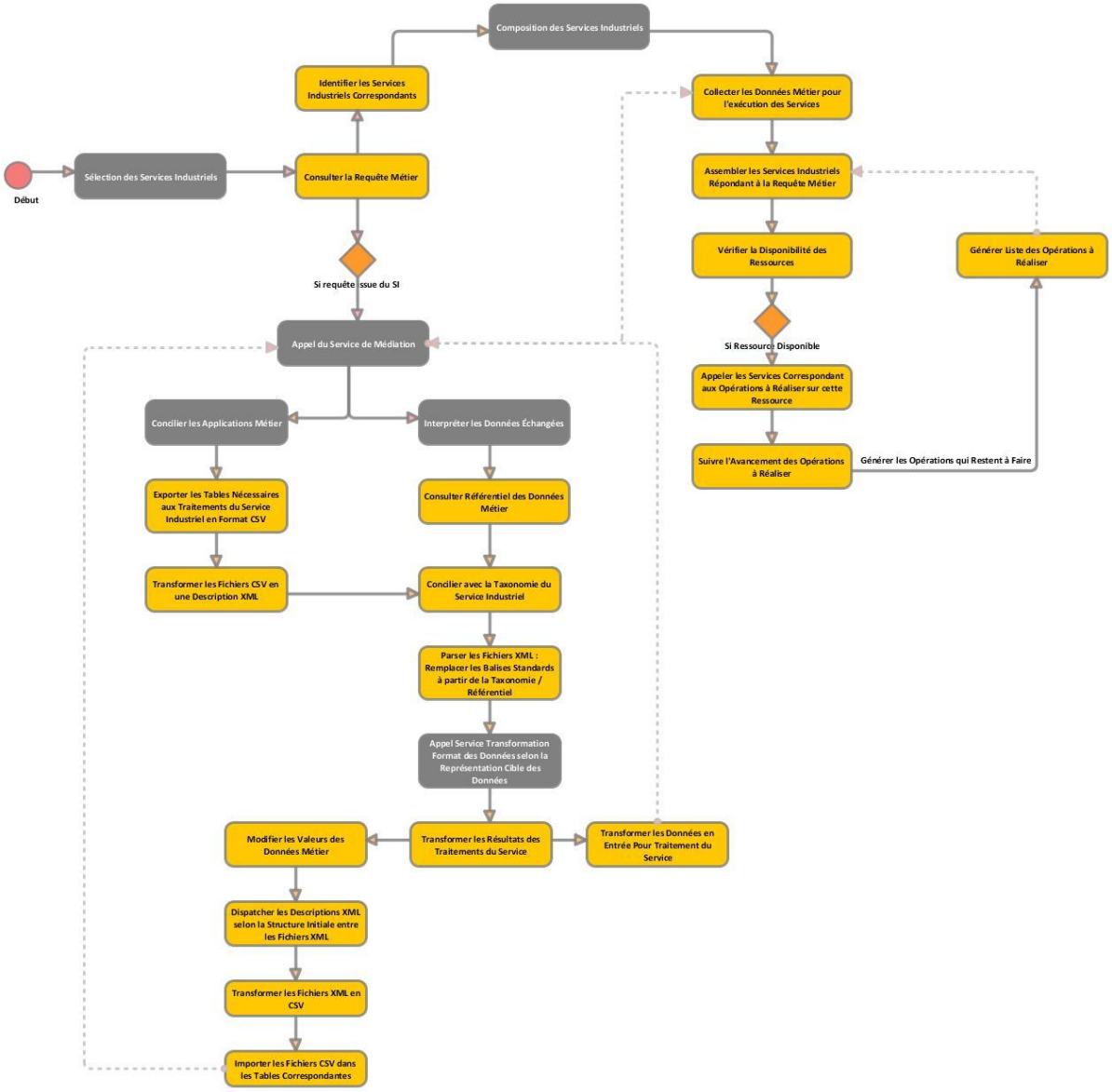


Figure 5.7. Processus de Composition Métier

L'orchestration du processus métier ainsi composé fait également appel au service de médiation pour extraire les données nécessaires à l'exécution des services sélectionnés. Ces services seront ensuite exécutés selon la disponibilité des ressources (si une ressource est disponible, appeler les services correspondant pour réaliser les opérations sur cette ressource).

En surveillant l'avancement des opérations, il est possible de régénérer, à la fin de chaque traitement, la liste des opérations qui restent à faire : le service de composition peut ainsi

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

s'adapter à des changements de contexte en re-sélectionnant et chaînant les services correspondants.

Dans notre exemple, la commande pour 100 jouets permet de lancer la composition métier selon les étapes suivantes (Figure 5.8) :

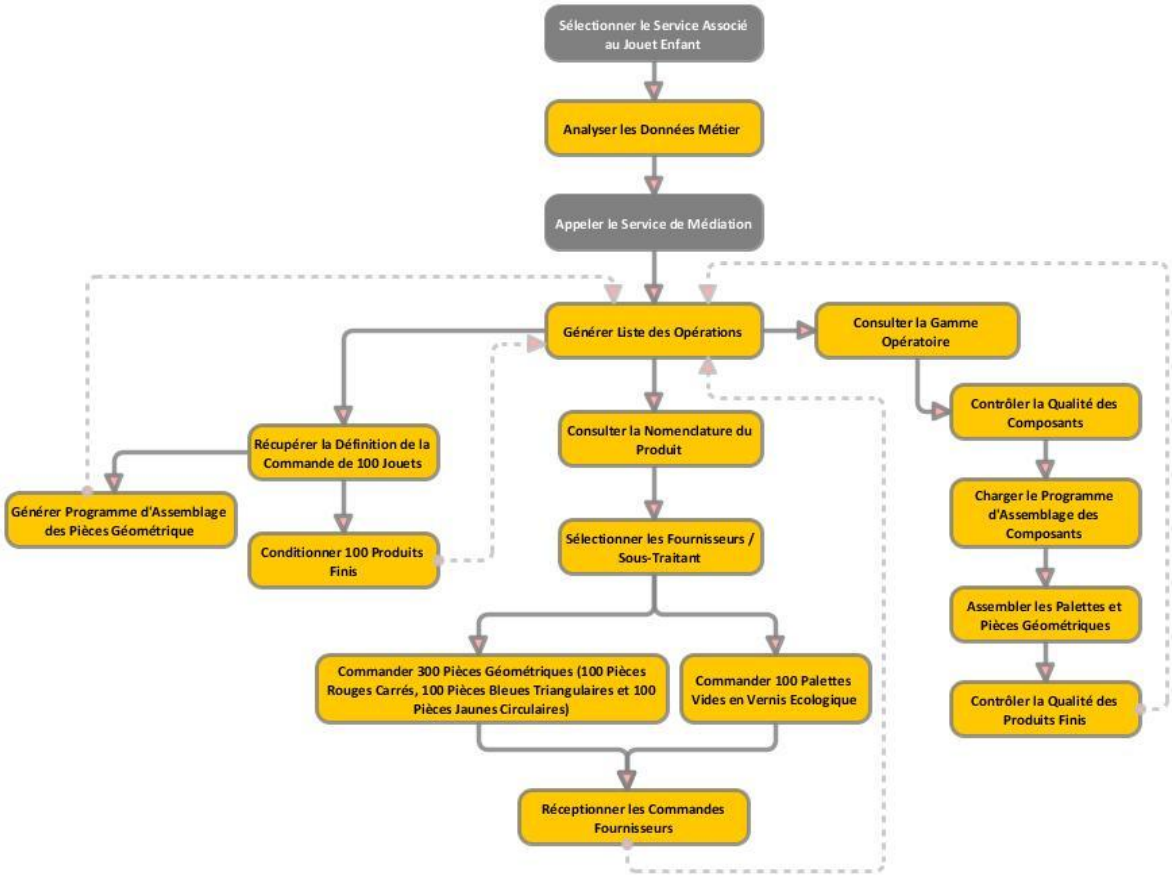


Figure 5.8. Composition Métier pour une Commande de 100 Jouets

- Le service industriel associé au produit jouet enfant est sélectionné
- L'analyse des données métier qu'il contient dans sa vision matérielle permet d'extraire les différents composants qu'il faut avoir à disposition, c.à.d. 100 palettes vides et 300 pièces géométriques
- A partir de ces composants, on sélectionne les services associés (dans notre cas, commande de 100 palettes vides en bois traité avec vernis écologique chez un fournisseur et 300 pièces multicolores (100 pièces rouges carrées, 100 pièces bleues triangulaires et 100 pièces jaunes circulaires en plastique recyclé) chez un sous-traitant et mise en production de 100 jouets…)
- Le processus métier est donc composé en chaînant l'ensemble des opérations nécessaires (en exploitant donc la gamme opératoire et la gestion de la qualité contenues dans la vision immatérielle du produit, la nomenclature du produit pour connaitre les phases de transformation du produit et les états et disponibilités des ressources définis dans la vision matérielle du produit). Ce qui permet de composer le processus en chainant les opérations

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

depuis celle qui sera la plus proche du client et en exploitant la taxonomie du service industriel pour retrouver les matières et règles de production associées pour chaque opération. Sachant que la gamme opératoire est composée de la séquence de 3 opérations : contrôle qualité des pièces détachées, assemblage d'un jeu et conditionnement, le processus de chainage se déroule de la manière suivante :

- Pour conditionner 100 Jeux il faut disposer de 100 jeux assemblés
- Pour assembler un jeu, il faut disposer sur le poste d'assemblage
    - D'une palette support
    - Des 3 pièces géométriques
    - Et du programme d'assemblage des pièces
- Pour disposer des pièces à assembler il faut un contrôle qualité
- Pour pouvoir faire ce contrôle qualité, il faut commander les pièces
    - Lancement d'un processus d'approvisionnement de 100 palettes en bois vernis
    - Lancement d'un processus de commande de 300 pièces en plastique recyclé (ce processus lui-même peut également être composé selon le même principe de composition métier s'il faut prévoir un passage en bureau d'étude et une sélection des fournisseurs).

5.3.1 Flexibilité Métier

L'entreprise Lean a besoin de flexibilité pour développer une orientation Client, adopter une organisation en flux tiré et définir une chaîne de valeur afin de transformer l'entreprise « fermée » en entreprise ouverte. Le service industriel offre des réponses en termes de flexibilité assurée à différents niveaux de l'entreprise quand il s'agit d'une production juste à temps, comme l'illustre la Figure 5.9. Nous pouvons parler de la flexibilité du produit c.à.d. la possibilité de diversifier et modifier le produit directement selon les besoins des clients à travers sa définition au niveau matériel du service industriel. La flexibilité du produit implique la flexibilité des ressources ce qui demande de gérer les statuts, les compétences et les disponibilités.

Les composants du service industriel décrivant le processus de production et le SI intègrent la flexibilité concernant les volumes et méthodes de production. Les options de la gestion de la qualité au niveau des opérations liées aux processus et le contrôle d'exécution permettent d'imposer des facteurs de qualités tels que le respect des délais d'exécution ce qui engendre de ce fait une flexibilité qualitative des méthodes de production. Ceci rendu donc le système capable d'adapter ses procédures de production.

Le service industriel participe à l'intégration du SI industriel dans le SI global de l'entreprise. Ainsi, la collaboration interentreprises devient plus évidente et facile à implémenter quand il s'agit d'adopter une architecture orientée services tenant compte des contraintes industrielles. Par

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

conséquent, implémenter des services industriels au sein de l'entreprise virtuelle permet d'établir des échanges fluides d'information puisqu'on peut prendre en compte les contraintes de médiation et que les différents modes d'activation permettent une gestion en flux tiré. Les services industriels supportent de ce fait l'interopérabilité organisationnelle puisqu'on identifie des processus de production adaptés. Pour finir, la taxonomie du service industriel propose une organisation plus simple des responsabilités basée sur les compétences.

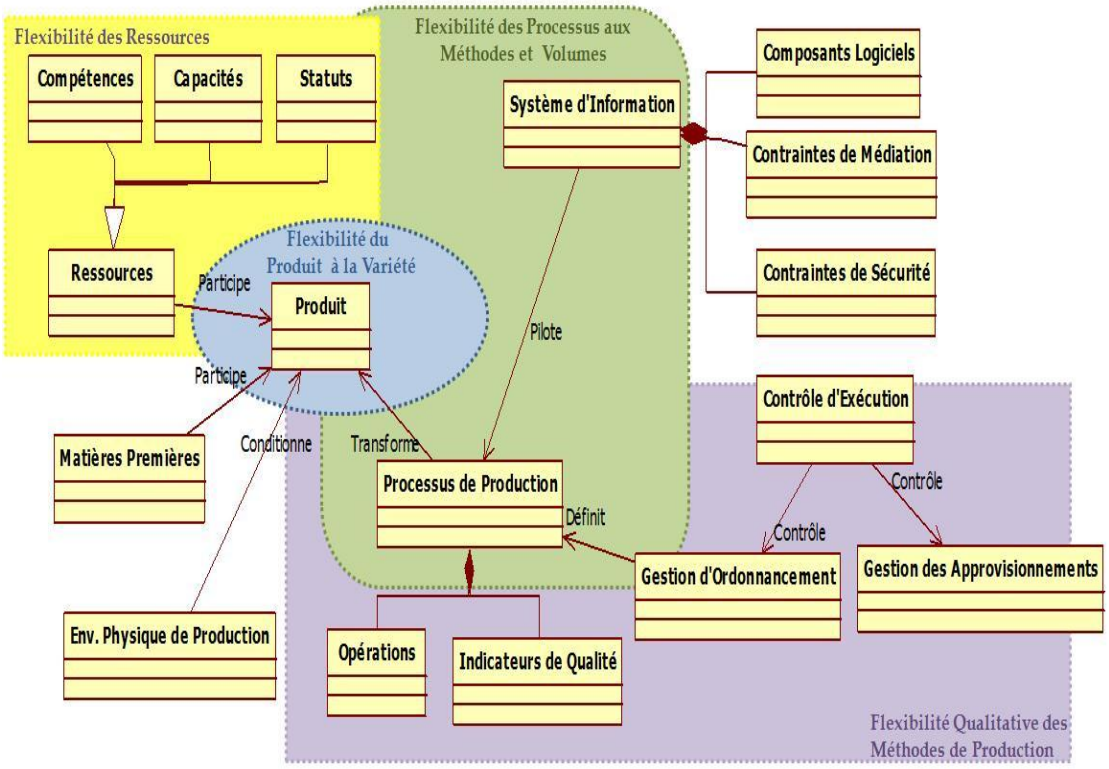


Figure 5.9. Champs de Flexibilité au Niveau du Services Industriels

La gestion en temps réel de toutes les activités de la production et des ressources est favorisée. La supervision des processus permet de mettre en œuvre une démarche qualité et d'organiser une maintenance préventive de l'atelier.

En conclusion, le service industriel améliore la réactivité aux besoins des clients : il simplifie les circuits d'information en optimisant la flexibilité de la production et de la collaboration avec les partenaires sans passer par des protocoles logistiques au préalable.

5.3.2 Niveaux d'Interopérabilité du Service Industriel

Nous avons vu (section 4.3) que l'interopérabilité devrait être satisfaite sur quatre niveaux : affaire, processus, services et données. Nous regroupons l'interopérabilité d'affaires et l'interopérabilité processus dans la catégorie de l'interopérabilité organisationnelle liée aux responsabilités et aux conditions de travail. Ceci est basé sur les ressources et leurs interactions. Outre leurs compétences, les ressources intègrent leur statut et capacité ce qui permet de prendre en compte les contraintes et données. Pour ce qui concerne l'interopérabilité des niveaux services et données que nous regroupons en « interopérabilité technologique ». Notre modèle

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

intègre des éléments en supplément aux descriptions syntaxiques et sémantiques usuelles ce qui permet de pallier les problèmes d'incompatibilité technologique entre les briques logicielles (Figure 5.10). En effet, le service industriel regroupe des propriétés fonctionnelles répondant aux différents niveaux d'interopérabilité. La Figure 5.10 présente un méta-modèle des propriétés fonctionnelles d'un service industriel pour répondre aux objectifs d'interopérabilité. Notons ainsi que la logique de gestion et la gestion des coûts sont des propriétés fonctionnelles sont relatives au niveau « affaire » de l'interopérabilité. Les opérations et les indicateurs de qualité des processus de production (gestion des interfaces, gestion de la qualité et contraintes d'exécution des processus automatisés) sont des propriétés fonctionnelles du service industriel répondant au besoin d'interopérabilité du niveau « processus ».

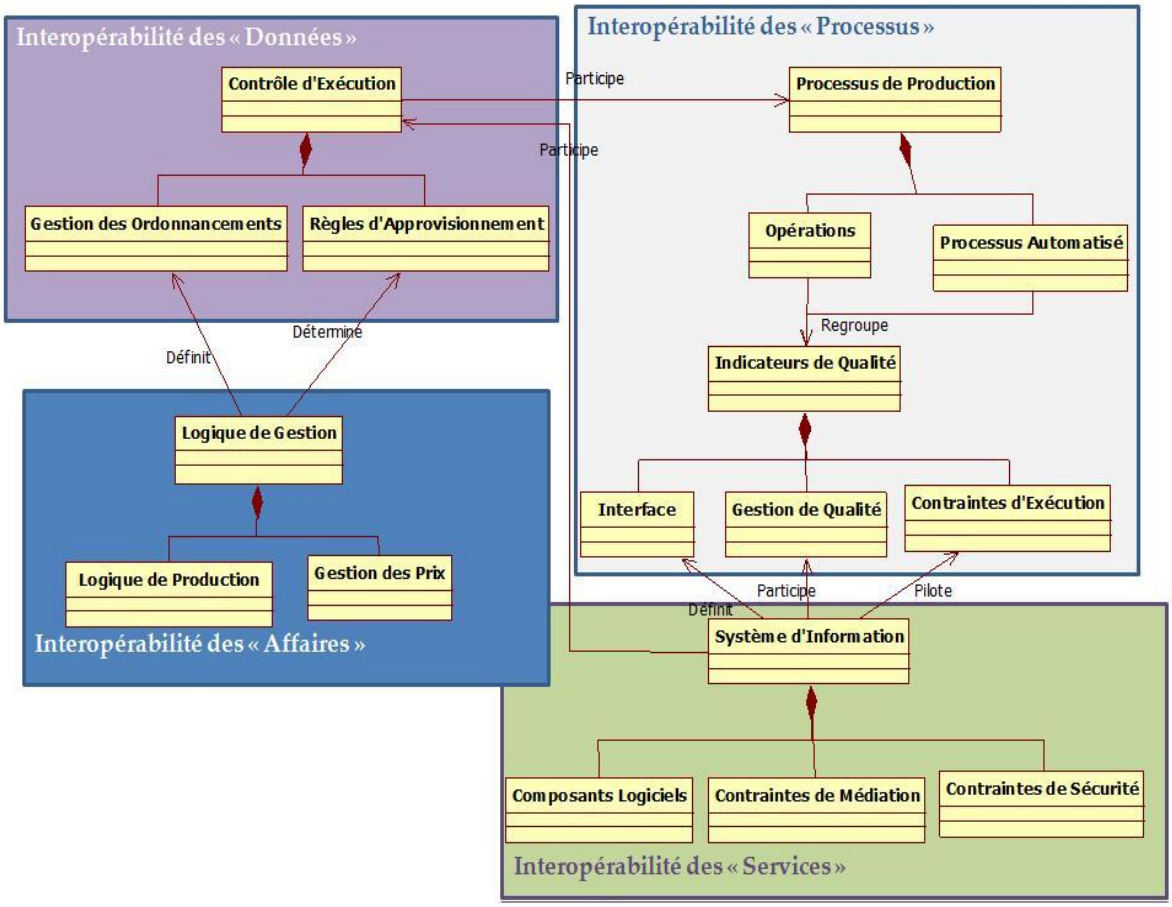


Figure 5.10. Modélisation des Propriétés Fonctionnelles du Service Industriel

Au niveau « service », la facette SI de l'entreprise permet de gérer les composants logiciels, les contraintes de médiation, pour gérer les différences syntaxiques et sémantiques ainsi que les contraintes de sécurité. Enfin, le niveau interopérabilité des données est pris en compte dans la partie « contrôle d'exécution » qui regroupe les informations contextuelles relatives à la charge du travail en cours tel que la gestion des ordonnancements et les contraintes sur les règles d'approvisionnement.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

5.4 Champs d'application des Services Industriels

Le champ d'application des services industriels s'étend sur tout système de production de biens ou de services. La mise en place de ces services apporte une logique d'intégration « métier » et permet d'intégrer le SI « de production » dans le SI global.

Nous allons dans ce qui suit détailler les problématiques d'intégration d'un système de production de biens et de services, à savoir dans le cadre d'une entreprise industrielle et dans le cadre de système hospitalier.

5.4.1 Système de Production de Biens – Système Industriel

Suite à l'augmentation de la concurrence dans le monde industriel, la diversité des produits augmente ainsi que le besoin de réactivité industrielle pour répondre aux besoins d'amélioration continue (Figure 5.11).

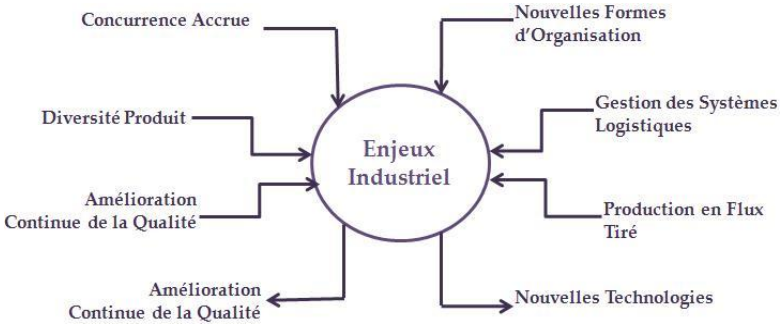


Figure 5.11. Enjeux Industriels sur les Systèmes de Production de Biens

L'émergence de nouvelles formes organisationnelles telles que le Lean Manufacturing, rigidifie de fait la gestion des systèmes logistiques pour tirer les flux de production vers le client dans une production au plus juste (Figure 5.12). Ceci limite donc les capacités d'adoption de nouvelles technologies ou de construction de collaborations interentreprises « dynamiques ».

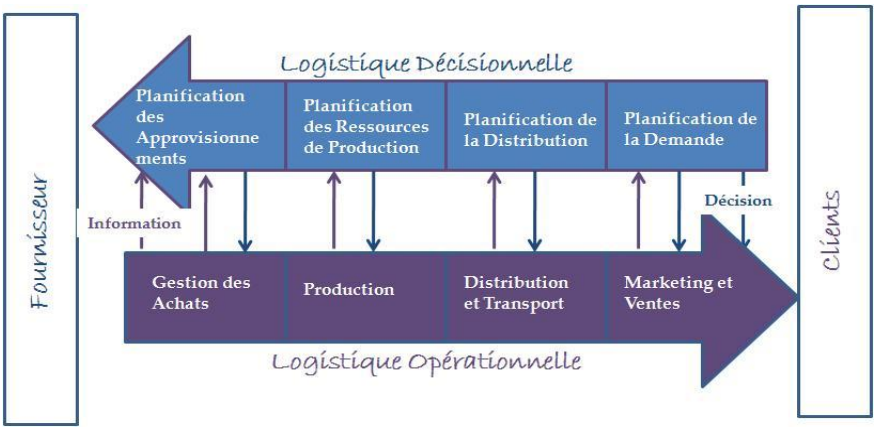


Figure 5.12. Système Logistique

Un système de production de biens est un dispositif flexible qui permet de réaliser des produits différents par lots en quantités pouvant être assez importantes. Il regroupe le système de

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

fabrication et le système de pilotage et est décomposé en trois niveaux (Figure 5.13) (Habchi, 2001) :

- Le sous-système physique (système de fabrication) représente le système opérant
- Le sous-système d'information permet l'acquisition, le traitement et la gestion des données du système et de son environnement
- Le sous-système de décision pilote le système physique. Il identifie, analyse et corrige les dérives en proposant des actions correctives ou préventives.

Le système d'information et le système de décision constituent ensemble le système de pilotage, appelé SID (Système d'Information et de Décision).

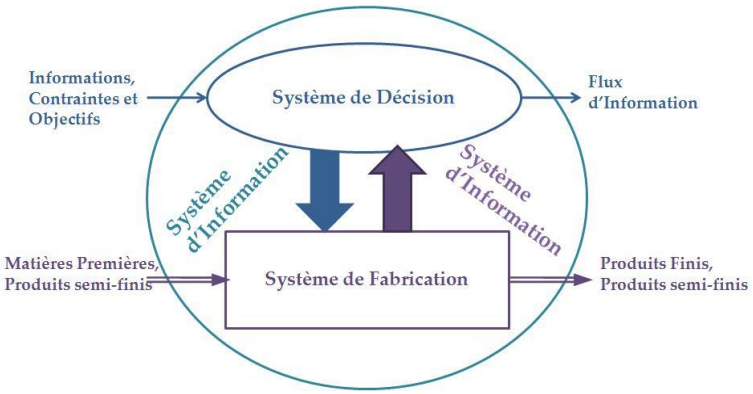


Figure 5.13. Cadre Conceptuel d'un Système de Production de Bien

La complexité du système de production est due au nombre et à la variété des processus qu'il gère, d'une part et d'autre part à la forte interaction entre les éléments. Le fonctionnement du système de production est pénalisé par le manque d'information échangée avec le niveau gestion (informations liées au marché, aux fournisseurs, à la concurrence…) et par les aléas (pannes, aléas sur arrivée des approvisionnements) qui rendent la gestion du système complexe. En outre, l'hétérogénéité des critères d'appréciation impose de disposer d'un SI performant pour s'adapter au processus de décision et mettre en œuvre un système de gestion efficace en couplant les dimensions « opérationnelle » et « décisionnelle ».

5.4.1.1 Système de Fabrication

D'après (Habchi, 2001), le système de fabrication regroupe ressources (machines, stocks, opérateurs, moyens de transfert) et entités (produits, matières premières, encours, pièces, lots) (Figure 5.14).

Les ressources sont décomposées en ressources principales (machines, robots, moyens de transfert, stocks) actives et relativement autonomes et ressources auxiliaires passives, utilisées par des ressources principales pour effectuer des opérations de transformation (avec valeur ajoutée ou sans valeur ajoutée) sur les ressources. Les ressources humaines peuvent être classées aussi bien en ressources principales lorsqu'elles sont impliquées dans des opérations de contrôle, de pesages, d'emballages… qu'en ressources auxiliaires quand il s'agit de réglage de machine (Habchi, 2001).

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

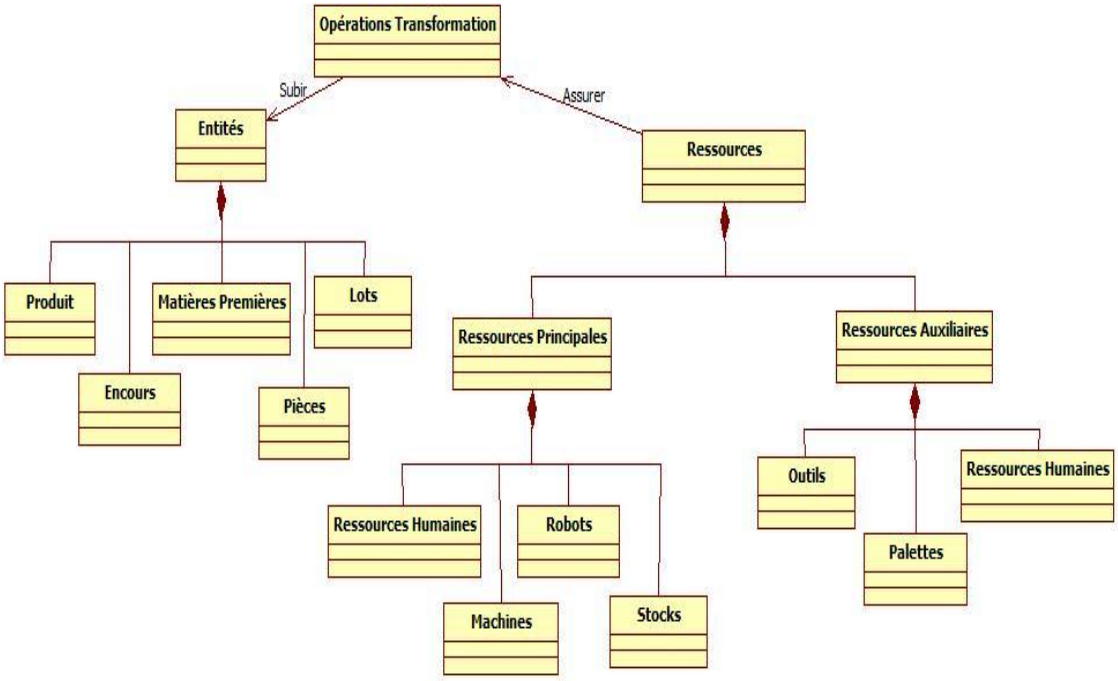


Figure 5.14. Méta Modèle du Système de Fabrication

5.4.1.2 Système de Décision

Le système de pilotage concerne le domaine opérationnel. Il est composé d'activités directement responsable de la gestion des ordres de fabrication et permet donc le contrôle sur la production des pièces sorties de l'atelier (Melnyk & Carter, 1987) (Figure 5.15).

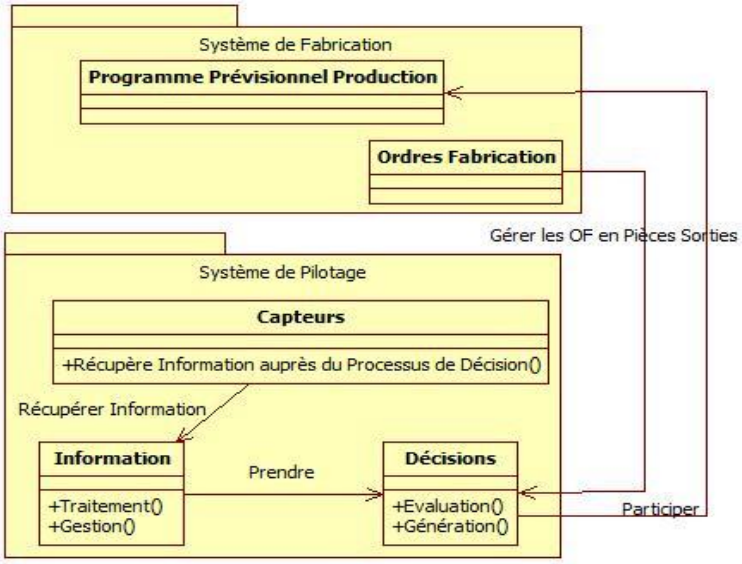


Figure 5.15. Système de Pilotage

La fonction « pilotage de la production » est responsable de la bonne exécution du programme prévisionnel de production par le système de fabrication (Ourari, 2003). Le système de pilotage est composé de capteurs pour la récupération de l'information, d'un processus de décision pour l'analyse, le traitement et la gestion de l'information et des processus d'évaluation et de

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

génération de décisions. Les points d'action représentent les points de passage des ordres de fabrication vers le système de fabrication lui-même (Habchi, 2001).

Le système de pilotage conditionne la réactivité du système de production. La qualité et la quantité des points d'acquisition et des points d'action permettent de mettre en œuvre des processus de décision efficaces capables de fournir une réaction adaptée vis-à-vis des perturbations ou changements de contexte.

La gestion du système de production vise à assurer une utilisation optimale des ressources de production et une bonne gestion des délais de réalisation des produits en mettant en œuvre un ensemble de règles. Les décisions prises dépendent fortement de l'information sur l'état du système à un instant donné.

Par conséquent, une bonne maîtrise des systèmes de production passe essentiellement par une bonne acquisition de l'information. Il s'agit d'une tâche rendue complexe du fait (Habchi, 2001) :

- de nombreux paramètres physiques (liés aux ressources et produits), organisationnels, décisionnels et de gestion
- de la dynamique du système qui est soumis continuellement à des aléas (pannes, absentéismes, qualité, délais…)
- de la distribution du système de production
- des tâches étant réalisées simultanément, des opérations de synchronisation et de partage sont souvent indispensables
- des objectifs qui diffèrent d'une fonction à l'autre et sont souvent antagonistes.

Ainsi, les objectifs partiels ne satisfont que rarement les objectifs globaux.

5.4.1.3 Apport du Service Industriel

Le service industriel (Figure 5.16) permet d'identifier les informations relatives au produit, aux ressources, à la matière première et à l'environnement physique de production. Grâce aux propriétés fonctionnelles et non fonctionnelles du service industriel, il est possible de structurer les informations d'un système de production de biens (allocations des ressources principales ou auxiliaires, produits, encours et données de production, telles que programme de production et ordonnancement des opérations). Dans la facette dédiée au système de pilotage, il est possible de regrouper les informations et décisions autour des processus de supervision retenus et des paramètres organisationnels liés aux ressources et aux produits et les conditions d'exécution des ordres de production.

Les métadonnées associées concernent donc toutes les données physiques d'un système de production de biens :

- Les processus de production selon la logique de gestion adoptée par l'entreprise (gestion des prix et logique de production)
- Le contrôle d'exécution (gestion des ordonnancements et règles d'approvisionnement).

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

Ces informations permettent non seulement la gestion des ordres de fabrication et des opérations de transformation d'un produit mais également la gestion des contraintes liées à la sécurité du système, des conditions de coordination et de médiation entre les différents composants du SI ce qui permet bien d'assurer la maîtrise du système de production.

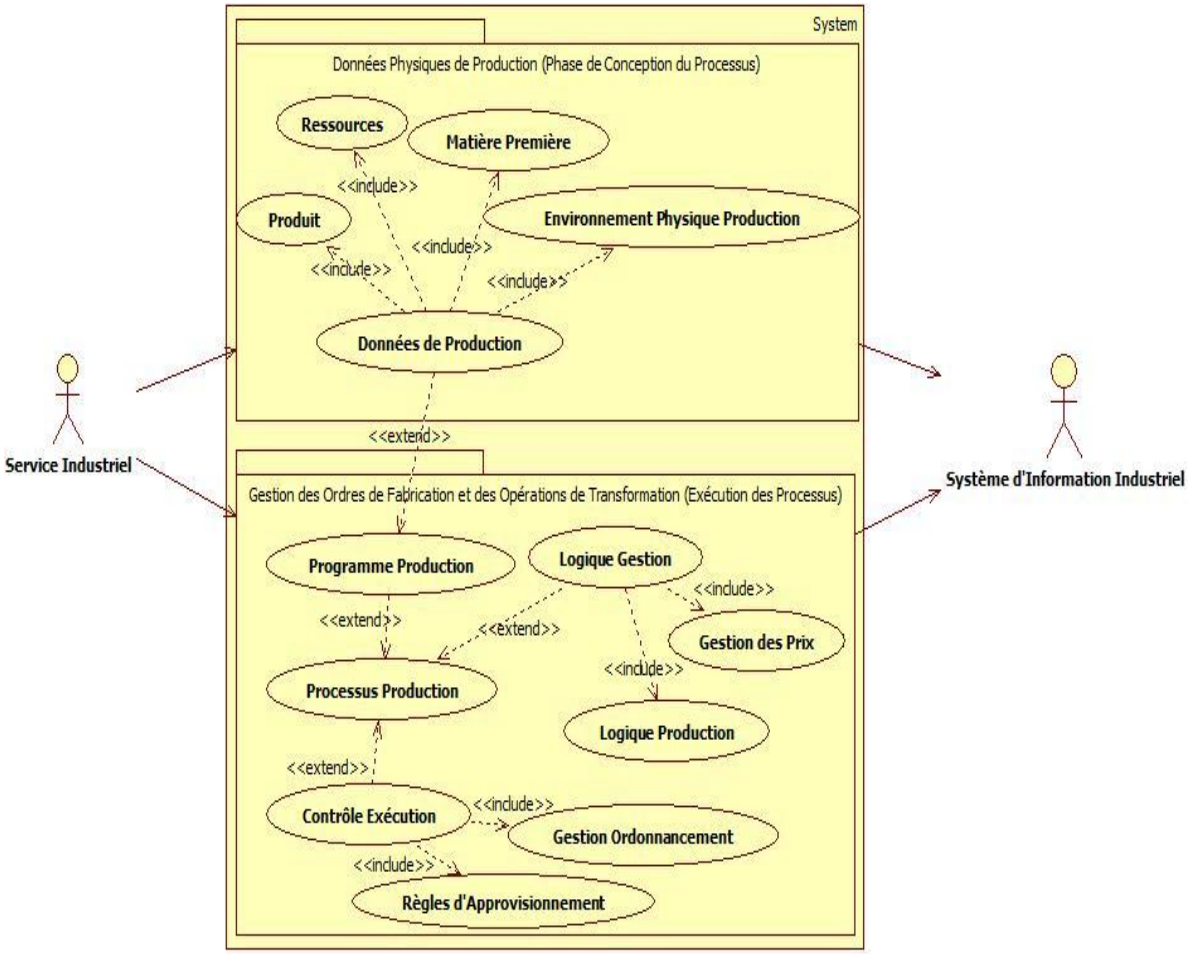


Figure 5.16. Apport du Service Industriel dans la Définition du Système d'Information Industriel

5.4.2 Système de Production de Services – Système Hospitalier

Dans un système de Production de services (immatériels), les services sont directement consommés par le client. Cependant, de tels systèmes ont souvent recours à des biens d'équipements et / ou à la consommation de biens intermédiaires ce qui impose de maîtriser un système mixte produit / service. Pour montrer l'application du service industriel aux systèmes de production de services, nous retenons le cas des systèmes hospitaliers.

Il y a quelques années, l'informatisation des hôpitaux a concerné essentiellement la gestion administrative et financière sans intégrer les données cliniques. Pour mettre en place un Système d'Information qui recouvre l'ensemble des besoins médicaux, administratifs, logistiques, financiers… les Système d'Information Hospitalier (SIH) ont vu le jour. Ils apportent un meilleur accès à l'information entre les différents services de l'hôpital et par conséquent accélèrent les processus décisionnels aussi bien sur le plan médical que sur le plan de la gestion. La mise en place de ces systèmes s'accompagne d'une réflexion sur les processus et l'organisation, afin

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

d'améliorer la productivité et la prise en charge du patient (Beuscart, Grave, Bricoteau, & Purro, 1993).

Les SIH sont aussi complexes que les SI d'une entreprise, comme l'illustre la Figure 5.17. Ils gèrent un volume très important d'information et doivent supporter des échanges avec des différents services de l'établissement hospitalier et avec l'extérieur (différents services médicaux-techniques, services logistiques, administratifs et autres) en plus des collaborations entre établissements similaires, laboratoires d'analyse, voire dans certains cas les acteurs impliqués dans l'hospitalisation à domicile…

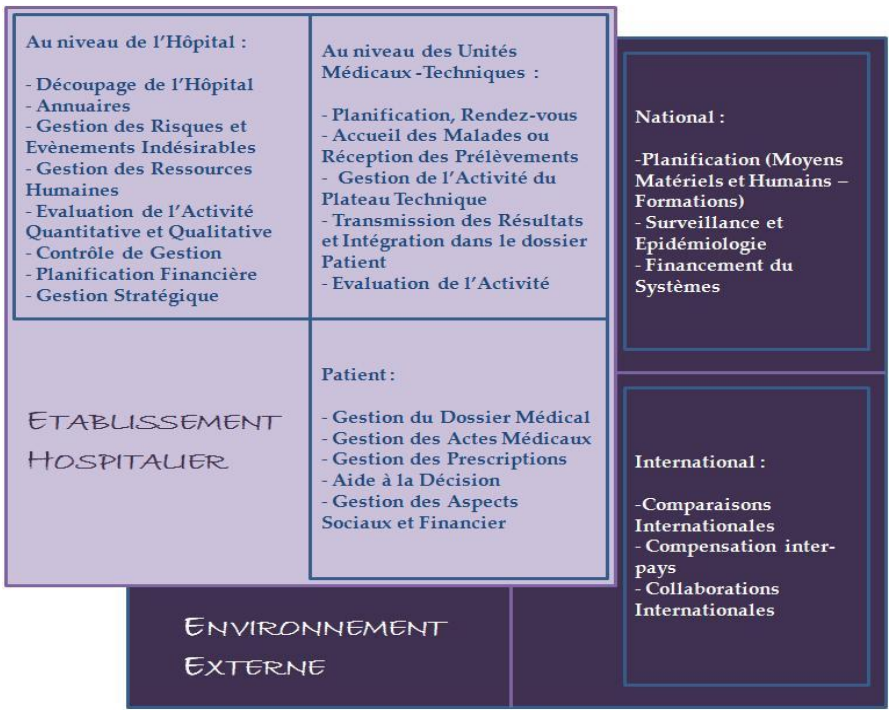


Figure 5.17. Environnement des Systèmes Hospitaliers selon (Kohler, 1992)

Les objectifs d'un SIH sont de :

- Permettre d'optimiser la prise en charge des soins en améliorant la gestion de l'information à l'intérieur et à l'extérieur de l'unité médicale.
- Fournir une meilleure coordination des tâches médicales, administratives et logistiques au sein et en dehors de la structure hospitalière en supportant des processus adaptés
- Respecter les objectifs stratégiques lors de la définition des priorités (Beuscart, Grave, Bricoteau, & Purro, 1993).
- Disposer d'un dossier patient unique dans l'hôpital pour détecter les interactions médicamenteuses
- Faciliter la mise en place de projets d'hospitalisation à domicile et l'organisation de réseaux de soin (Ben Bachouch, Guinet, & Hajri-Garbouj, 2009)en exploitant les possibilités d'échanges d'information.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

La réussite de mise en place d'un SIH est conditionnée par une connaissance approfondie de la circulation de l'information, une allocation juste des ressources, une analyse fine des Systèmes d'Information et de leur organisation (Kohler, 1992). Suite au volume important des échanges entre les différents services hospitaliers, les systèmes actuels souffrent de redondance et de non cohérence et limitent l'ouverture vers l'extérieur. Dans ce cas, recourir à l'urbanisation du SIH est une solution pour aménager le SIH en ilots, contribuer à la sécurité et imposer des règles à respecter.

L'hôpital a évolué comme l'entreprise d'une culture produit à une culture client. En effet, la culture produit pour l'hôpital c'est une approche par séjour c'est-à-dire que le dossier du patient est classé par séjour et par service et non vu comme un dossier unique par patient. Une fois qu'un seul dossier patient est mis en place, la coopération entre les équipes médicales est sans faille. Par conséquent, cette approche par patient facilite l'orientation vers une culture client. Ceci explique qu'une démarche Lean peut être mise en place. En effet, dans le domaine hospitalier la gestion du temps, le respect des délais et la réduction du gaspillage sont des facteurs tout aussi importants que dans le domaine industriel puisqu'ils contribuent à augmenter la qualité des soins.

En outre dans le domaine hospitalier le parcours d'un patient et les protocoles d'urgence doivent être traités en flux tiré et continu afin d'exécuter les processus selon les besoins de traitement et s'adapter au patient.

La production hospitalière est représentée par un cycle parcouru plusieurs fois par un seul patient, cycle répété dans l'hôpital par d'autres patients. Le processus est déclenché par une consultation qui peut engendrer la consultation d'un spécialiste ou un examen. Cette demande, formulée par un médecin traitant au départ, sera introduite dans un système de planification et de gestion des ressources (personnels et matériels) en tenant compte des contraintes du patient. Les résultats des examens sont ensuite consignés dans le dossier médical, puis analysés pour engendrer, le cas échéant, une nouvelle demande. Un tel système est assez complexe et ne peut fonctionner que s'il est bien régulé (Figure 5.18).

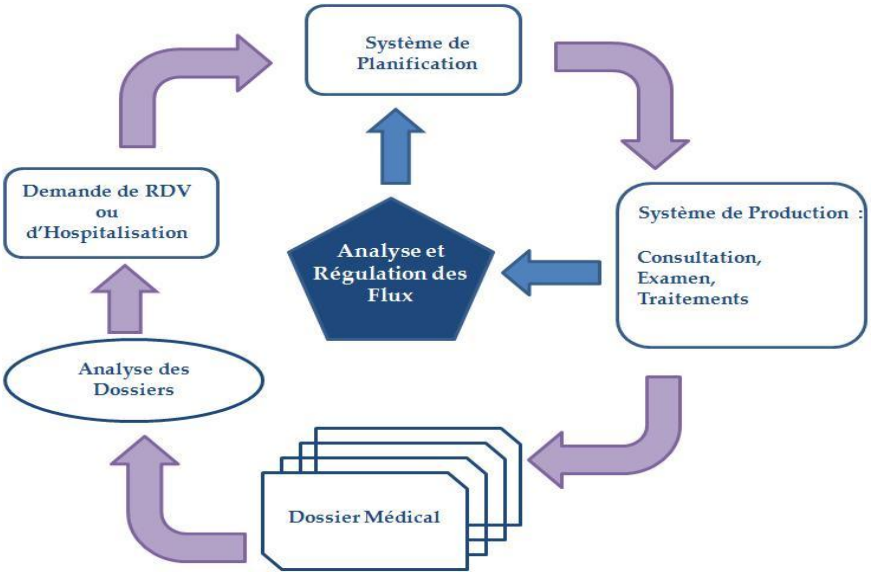


Figure 5.18. Description du Système d'Information Hospitalier (Institut Curis)

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

La démarche de mise en place d'un SIH nécessite :

- d'identifier concrètement les flux de données, les flux de personnes et les flux matériels,
- de définir les circuits, les processus, les stockages de données, (Lataste, 1997)…

Ceci explique la nécessité de mettre en place une organisation orientée services pour le SIH afin de le doter de la flexibilité et la souplesse nécessaires pour les échanges entre les différents services de l'hôpital et pour l'ouvrir sur d'autres systèmes selon les collaborations à mettre en place (cas de l'hospitalisation à domicile par exemple nécessitant des collaborations entre le centre de surveillance, gestionnaire de téléalarme, l'infirmier chargé du patient à domicile…).

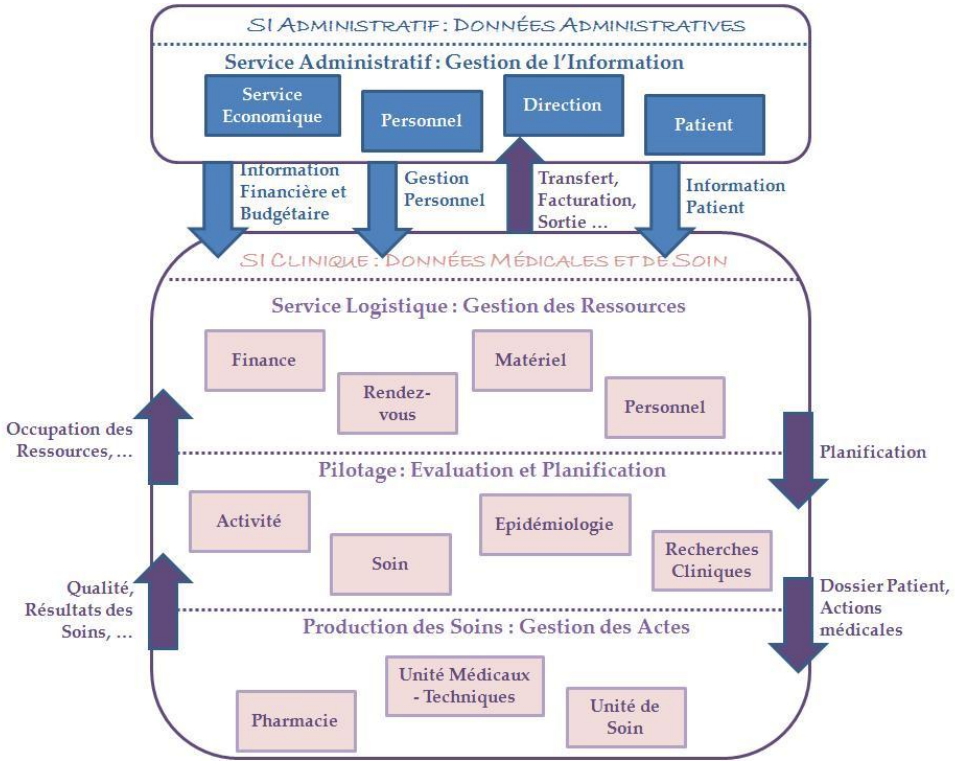
Cette ouverture pose les problèmes :

- d'interopérabilité des systèmes afin de faire circuler le dossier médical
- de la confidentialité des informations échangées (dossier médical).

Ce dernier point implique un contrôle rigoureux des droits d'accès et une traçabilité des transactions effectuées (pour conserver, par exemple, les différents états du dossier médical). De ce fait, la mise en place d'un bus de services peut répondre aux besoins d'interopérabilité et d'ouverture du SIH.

5.4.2.1 Interfaces d'Échange entre le Métier et la Production

La Figure 5.19, nous montre le manque de flexibilité et d'organisation du SIH. Le Système d'Information Hospitalier présente des interfaces d'échanges entre différents niveaux (SI administratif au SI clinique en passant par le niveau de pilotage, la production des soins et le niveau de la logistique).



Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

Figure 5.19. Interfaces d'échanges entre les différents Niveaux Hiérarchiques d'un Hôpital

Nous pouvons remarquer qu'il n'y a pas de réelle synchronisation des flux entre les différents niveaux. En effet, les flux d'information (informations relatives au patient, la gestion des personnels et les informations financières et budgétaires) sont transmises du niveau administratif jusqu'à la production des soins en passant par la gestion des ressources et le pilotage. Les modules mis en œuvre sont très différents : la gestion des finances, des matériels, des personnels, des rendez-vous… au niveau de la logistique, la gestion des activités, des soins, des épidémiologies, des recherches cliniques… au niveau pilotage.

Cette multiplication des systèmes ne permet ni un échange fluide d'information ni une vision rationnelle sur le processus « vu par le patient ».

5.4.2.2 Apport du Service Industriel

Si les SIH sont différents des systèmes de production de biens, leur logique n'est pas divergente. Il est vrai que les données du service industriel diffèrent d'un contexte à l'autre, sans jamais perdre leur crédibilité dans le domaine des SIH. La Figure 5.20 permet d'identifier les métadonnées d'un service industriel susceptibles de gérer les informations du système hospitalier. Cette figure présente la correspondance entre les tags utilisés dans la taxonomie du service industriel et les métadonnées liées au SIH.

Les informations matérielles du service industriel regroupent les données sur le produit, les encours, les ressources, la matière première et l'environnement physique de production. Dans le cadre des SIH, il s'agit du patient (les informations sur le patient, son dossier, la pathologie…), des ressources en personnel (les médecins, les infirmiers, les radiologues…), des ressources matérielles (les unités médicaux-techniques, les unités de soin et la pharmacie), d'environnement physique de production des soins (le planning des salles d'opération, des rendez-vous, des transferts des patients…). La dimension immatérielle du service industriel correspond à la logique de gestion des activités de soin, de la facturation…

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

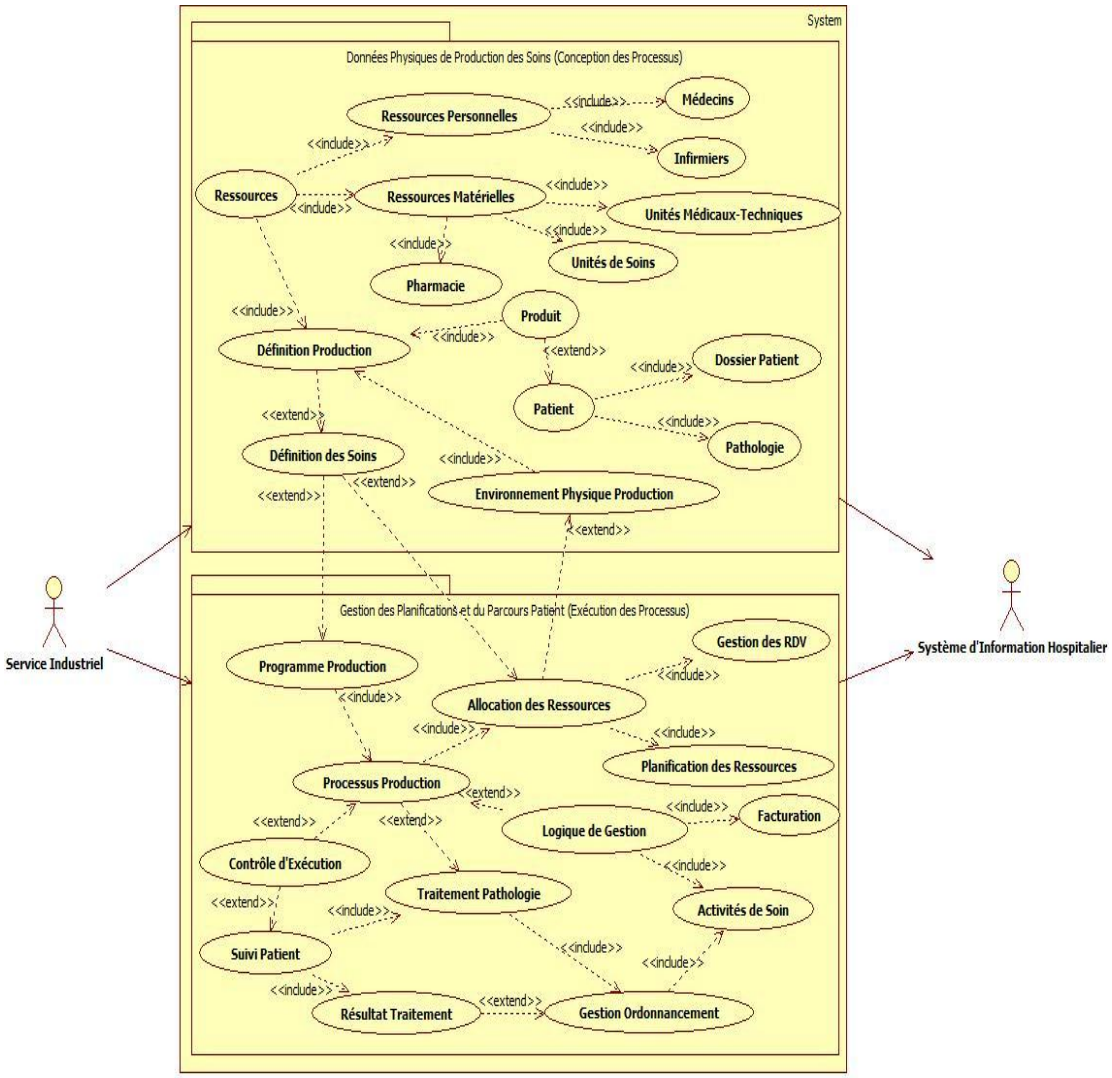


Figure 5.20. Apport du Service Industriel dans la Définition du Système d'Information Hospitalier

Le service industriel permet de définir les activités de soin selon les besoins de traitement de la pathologie du patient. Le contrôle d'exécution permet le suivi des parcours patient et la gestion des ordonnancements des activités de soin selon les résultats du suivi. Enfin, la description des contraintes sur le SI permet la gestion des contraintes de sécurité et l'appel des composants logiciels.

Les propriétés fonctionnelles du service industriel sont donc liées aux données du patient (dossier médical et pathologie à traiter) et aux données de production relatives à l'allocation des ressources. Les données de production regroupent les processus de production organisés selon un programme de production. Les processus de production permettent la coordination des activités de soin sur le parcours du patient. Le programme de production est associé à la définition du traitement de la pathologie. L'allocation des ressources regroupe la planification des ressources à la gestion des rendez-vous permettant de gérer la disponibilité des médecins et infirmiers, de planifier les salles opératoires et d'organiser l'hospitalisation par exemple. La gestion des rendez-vous dépend de la planification des ressources, et de la préparation du patient quand il s'agit d'hospitalisation. Les propriétés non fonctionnelles du service industriel regroupent

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

les informations du suivi des patients et de l'ordonnancement des tâches de soin selon les résultats du traitement.

L'exemple illustré dans la Figure 5.21 présente le processus résultant d'une composition métier et montre les appels de services industriels suivant un parcours de soins d'un patient. Dans cet exemple, nous avons traité le cas d'un parcours comportant plusieurs étapes : consultation d'un médecin traitant, admission dans un hôpital, traitement opératoire et traitement postopératoire. Le service industriel permet de dérouler le parcours de soins en prenant en considération le dossier du patient, la disponibilité des ressources (programmer des rendez-vous avec les médecins, réserver un lit dès l'admission à l'hôpital, réserver un bloc opératoire, programmer l'opération et réserver le matériel pour l'intervention…) pour planifier le parcours du patient et enfin intégrer les contraintes de médiation entre les différents services (médecin traitant, service de chirurgie et service d'anesthésie).

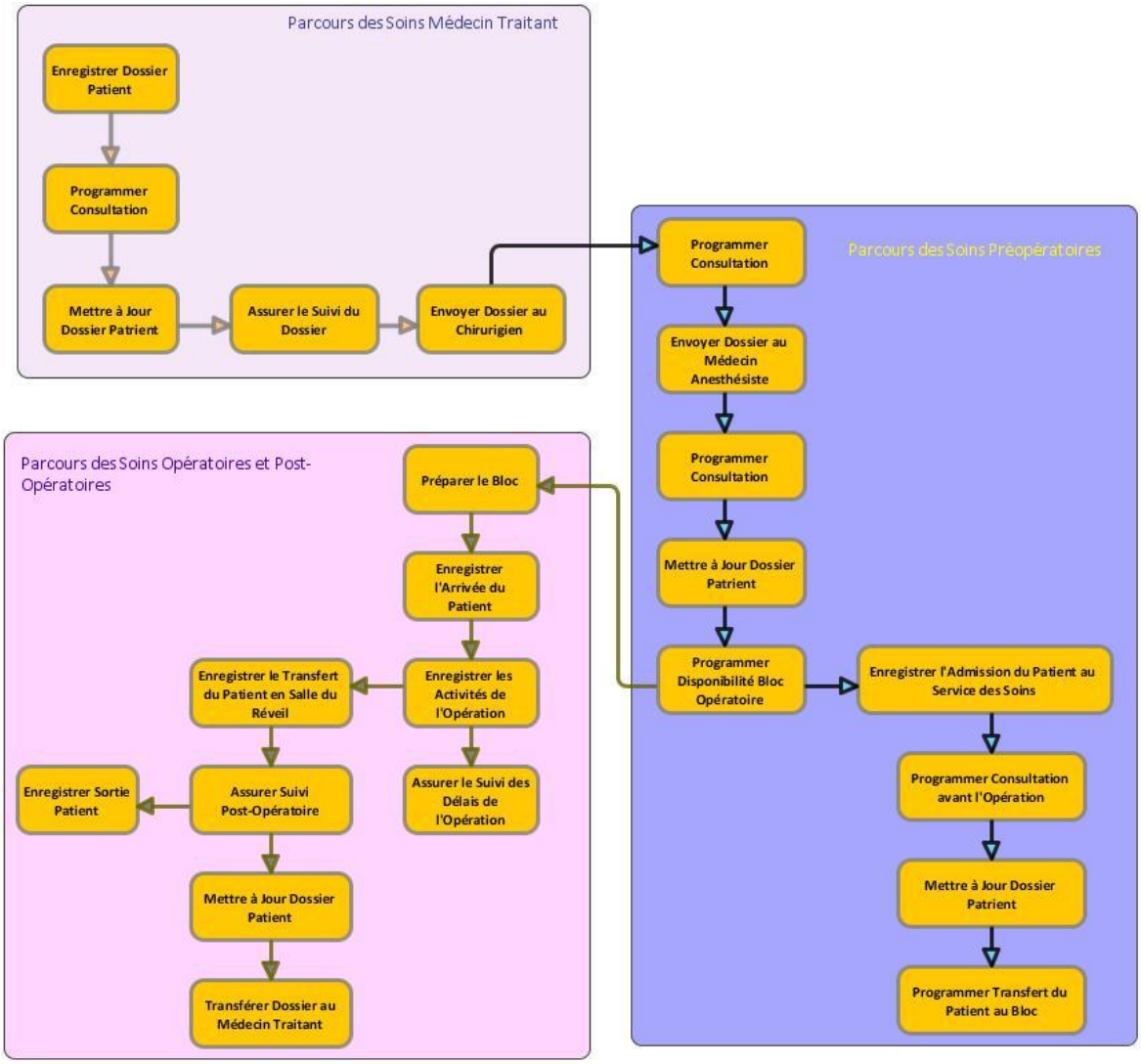


Figure 5.21. Exemple de Services Industriels dans le Domaine Hospitalier

Nous nous sommes limités dans nos travaux de recherche et dans cet exemple à l'organisation des flux de production des soins et n'avons pas traité la médiation métier de données du domaine médical en intégrant une ontologie particulière (HL7 par exemple).

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

5.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons apporté une première réponse pour permettre au SI de répondre aux exigences de la mise en place d'une stratégie de Lean Manufacturing. Pour rendre le SI agile, capable de s'aligner sur l'organisation métier de l'entreprise et supporter l'interopérabilité métier nécessaire par la vision transverse liée à l'organisation d'une chaîne de valeur, nous avons proposé une architecture orientée services industriels, étendant les principes des architectures orientées services classiques à la dimension métier.

Pour cela, nous avons défini une taxonomie de services industriels orientée « produit » (définition du produit, de la production et l'allocation des ressources physiques de l'atelier). Ce service est doté d'une couche de sémantique industrielle, la norme ISA S-95 qui est considérée comme ontologie métier associée au domaine de la production.

A partir de cette spécification de service industriel, nous avons ensuite défini le principe d'une composition métier, permettant de chaîner, dans une logique au plus juste, les services industriels nécessaires pour assurer la production en réponse à la commande d'un client.

Pour supporter cette architecture et disposer d'un SI Lean, il faut définir le middleware support. Ce dernier devra supporter une médiation inter-métier entre les différents secteurs métier de l'entreprise et intégrer le mécanisme de composition métier.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

Chapitre 6 Bus de Services d'Entreprise Lean « Lean ESB »

6.1 Introduction 109

6.2 Description du Bus de Services Lean 109

6.3 Module de Médiation Sémantique Inter-Métier 122

6.4 Routage Intelligent 143

6.5 Monitoring & Gouvernance 147

6.6 Composition Métier et Chorégraphie Dynamique 149

6.7 Conclusion 153

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

6.1 Introduction

Dans le Chapitre 5, nous avons défini une architecture orientée services industriels tenant compte des contraintes de la production dans une organisation Lean. Les services industriels ont été conçus pour intégrer les informations nécessaires pour permettre une composition métier (en recherchant les services à composer pour construire le processus répondant à la demande du client dans une logique au plus juste), rendant ainsi le SI agile et aligné sur l'organisation métier de l'entreprise. Pour étendre le mécanisme de composition métier au-delà des frontières de l'entreprise et pouvoir définir une chaîne de services « contractuelle » composant des processus à la demande, nous proposons de publier ces services industriels dans un registre des services enrichi par une couche de sémantique industrielle définie par l'ontologie ISA S-95 pour intégrer les données de définition du produit et les données de production (définition, résultats et capacités de la production).

Pour permettre de relier cette architecture au SI existant, nous proposons de mettre en place un middleware supportant l'organisation des services industriels (ce middleware sera désigné par la suite sous les termes bus de services Lean ou Lean ESB) et embarquant une connaissance inter-métier afin d'aligner le SI sur les différents domaines métier de l'entreprise (et ceux de ses partenaires dans un cadre de collaboration).

Dans ce chapitre, nous proposons d'organiser le bus de services Lean comme une surcouche d'un bus de services d'entreprise classique. La couche de sémantique industrielle permet de construire les modules inter-métier au-dessus d'un bus de services classique. Quatre modules (médiation, chorégraphie dynamique, monitoring & gouvernance et routage intelligent) sont définis pour une organisation de production en juste à temps organisée sur la chaîne de la valeur de l'entreprise. Ces modules prennent en compte les besoins de qualité, d'organisation des processus en flux tiré, de collaborations interentreprises…

Après avoir spécifié la conception de ce middleware, nous présenterons une étude de cas montrant globalement le fonctionnement de ce bus sur un cas d'école de production manufacturière.

6.2 Description du Bus de Services Lean

Un Bus de Services d'Entreprise (ESB – Enterprise Service Bus) est un middleware support de l'Architecture Orientée Services (SOA), intermédiaire de communication entre plusieurs applications de l'entreprise (Louis, 2008). Son objectif est de répondre au besoin d'interopérabilité technologique entre des systèmes qui n'étaient pas conçus pour fonctionner ensemble, comme deux ERP provenant de deux éditeurs différents, par exemple. Ceci explique que les ESB sont parfois présentés comme une nouvelle génération d'EAI (Enterprise Application Integration). Support des architectures à base de services, les ESB utilisent des standards tels que XML (comme langage de communication) et les technologies liées aux services web ce qui assure leur ouverture et interopérabilité technologique.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

Les services sont distribués sur tout le réseau de l'entreprise, voire sur internet, pour respecter le principe de distribution forte au sein de l'organisation. La communication entre les différents éléments connectés au bus est réalisée grâce à des messages.

La composition des processus métier et la chorégraphie des services sont assurées grâce à un outil permettant de lancer l'exécution automatique des services nécessaires à l'implémentation des processus. Si l'ESB orchestre les processus métier, il convient de disposer d'une modélisation pertinente des processus métier pour satisfaire une stratégie de production à la demande. En effet, si l'ESB réduit les difficultés d'intégration, il ne change rien à l'organisation de la logique métier de l'entreprise et sa mise en œuvre se réduit parfois à supporter des connexions point à point entre applications.

Pour prendre en compte les contraintes industrielles du système de production dans l'orchestration des processus, on ne peut pas se limiter à une composition de services prédéfinis au préalable puisqu'il faut prendre en compte les contraintes d'interopérabilité du niveau métier jusqu'au niveau technologique et suivre une logique de gestion des processus industriels.

Pour pallier ces limites, nous définissons un bus de services industriels dit « Lean ESB », illustré dans la Figure 6.1.

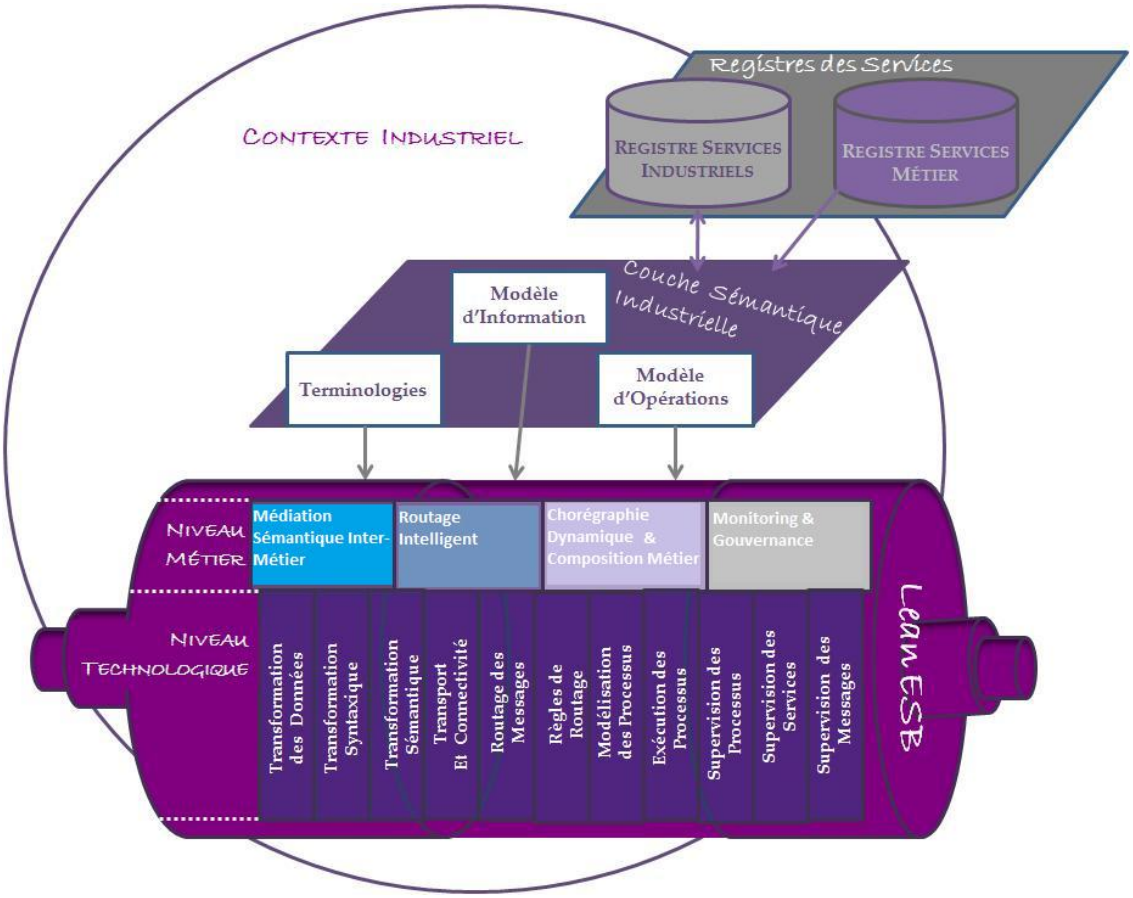


Figure 6.1. Bus de Services Lean – Lean ESB

Ce bus de services a les mêmes spécifications informatiques que celles d'un ESB, il prend en compte les aspects métier en plus des aspects technologiques pour supporter la mise en œuvre

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

d'une démarche Lean Manufacturing. Pour garantir le niveau d'agilité nécessaire dans l'ESB, il faut le restructurer pour étendre au niveau métier la réactivité technologique et opérationnelle d'un bus de services classique. Ainsi, le Lean ESB regroupe des modules « Inter – Métier » et des modules « informatiques » d'un bus de services d'entreprise classique.

6.2.1 **Défis à Relever**

Intégrer globalement le SI à travers un bus de services est l'une des meilleures méthodes pour garantir l'agilité. En effet, quand l'activité est intégrée sous forme de services, l'entreprise peut se réorganiser en mettant à jour ou en réorchestrant les services selon l'évolution des conditions du marché, sans avoir à repenser tout le système. Cette approche permet aussi de supporter des systèmes complexes tels que ceux supportant les collaborations interentreprises.

De manière similaire, dans notre architecture orientée services industriels, un middleware, le Lean ESB, doit permettre d'intégrer des services industriels pour s'adapter à l'organisation du système de production dans les stratégies de gestion de l'entreprise. De ce fait, la souplesse et l'agilité du SI seront accrues puisqu'on disposera d'une architecture orientée services tenant compte du métier de l'entreprise et des contraintes industrielles. Ceci limitera donc l'impact des changements économiques sur la réorganisation du SI, celui-ci étant conçu pour suivre l'organisation de l'entreprise. Les changements conduiront à définir de nouveaux services, mettre à jour les services existants ou encore définir une nouvelle logique d'orchestration. Le Lean ESB sera conçu pour composer des processus métier, des processus de production et des processus collaboratifs (pour supporter les stratégies de collaboration). Dans le cadre de nos travaux nous nous sommes limités à l'intégration de la sémantique industrielle dans ce middleware sans prendre en compte les nécessaires développements et mises en œuvre des politiques de sécurité et accords de collaboration.

Au niveau organisationnel, les services industriels supportés par le Lean ESB permettent de prendre en compte les contraintes d'interopérabilité industrielles (gestion et organisation des ressources, gestion de compétence métier). La composition et l'orchestration de ces services permet de piloter et synchroniser les tâches partageant différentes ressources (main d'œuvre, machines, application…). Ce middleware supporte également une fonction de chorégraphie dynamique des services pour s'adapter aux changements de contexte. Ce middleware permet donc d'intégrer des modèles d'affaires, des modèles décisionnels et processus industriels.

De manière à construire et mettre en œuvre des processus transversaux (inter-métier), le verrou principal est la gestion de l'interopérabilié. La définition de l'interopérabilité relative au domaine industriel que nous avons retenue est « L'interopérabilité est la capacité d'interaction entre les applications d'entreprises. L'interopérabilité est considérée comme acquise si cette interaction peut, au moins, se réaliser à trois niveaux : donnée, application et organisation. Le niveau « organisation » est décomposé en trois niveaux : modèle d'affaire, modèles décisionnel et processus industriel » (IDEAS Project, 2003). En effet, de nombreux travaux ont souligné le fait que l'interopérabilité ne se limite plus aux problèmes technologiques entre outils informatiques,

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

mais doit être étendue pour traiter des différentes structures organisationnelles en respectant leurs compétences et connaissances associées (Daclin, et al., 2008).

La surcouche de sémantique industrielle permet de définir des processus de médiation sémantique soit entre secteurs métier différents (dans une entreprise ou entre entreprises) soit entre secteurs métier identiques entre des entreprises différentes. Cette médiation sémantique complète la traditionnelle médiation syntaxique et permet de faire circuler l'information en l'adaptant et en la rendant compréhensible entre systèmes différents ce qui assure l'interopérabilité des données et des applications (par exemple cela permet de coupler les systèmes de gestion de production et de contrôle d'atelier).

Pour respecter l'organisation des flux selon la chaîne de la valeur dans une logique « au plus juste », conformément à la stratégie Lean, il faut fluidifier les flux physiques et informationnels pour suivre « l'écoulement » de la chaîne de la valeur. Or, nous avons montré dans le chapitre 4 que la stratégie d'urbanisation des SI conduit à une organisation en fonctions ou par silos. Ce cloisonnement entre secteurs métier différent fait que l'information circule mal entre modules, ce qui pénalise aussi l'organisation des flux physiques. En outre, lorsque la stratégie d'urbanisation est couplée à la stratégie des Architectures Orientées Services pour la mise en œuvre du SI, l'organisation des flux informationnels les processus sont modélisés par un graphe de services et la fonction d'orchestration prend en charge les différentes invocations de services (De Freine, 2006) en suivant. C'est donc la fin d'exécution d'un service qui lance l'appel au suivant dans une logique en flux poussée, contraire à la logique en flux tirée des processus industriels organisés en « juste à temps ».

A la différence des services métier, construits pour des fonctions métier « cloisonnées », les services industriels, avec leurs propriétés fonctionnelles et non fonctionnelles, sont construits selon une logique « transverse » de chaîne de valeur. Leur sélection et composition n'est donc pas réalisée a priori mais épouse la logique du processus de production en flux tiré en réponse au besoin exprimé par le client. Pour conserver cette logique en flux tiré et suivre au plus près la chaîne de valeur de la production, nous proposons un module de chorégraphie dynamique proche d'un système de « Late Binding » pour composer dynamiquement les processus informatiques support de l'activité de l'entreprise et non pas concevoir ces processus a priori. Cela permet de mieux aligner le fonctionnement du SI sur l'organisation métier (au lien d'aligner l'organisation métier sur les processus standardisés mis en œuvre par le SI).

Outre l'organisation d'une production en flux tiré, la stratégie Lean intègre également une logique d'amélioration permanente. La prise en compte des contraintes de qualité de production (pour éviter les gaspillages) suppose de pouvoir superviser le processus et réagir en cas de problème.

C'est pour répondre à ces défis que nous avons spécifié une architecture orientée services industriels. Dans cette vision, la spécification du service industriel comporte des propriétés fonctionnelles et non fonctionnelles. Il est donc possible d'utiliser ces données pour établir des « contrats de services » (Manufacturing Service Level Agreement) garantissant le niveau de qualité industrielle (qualité du produit, maturité du processus, délai de production, sécurité…). Ces propriétés sont également associées à des indicateurs clefs de performance, indicateurs qui

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

font l'objet d'un suivi par le biais du module de monitoring et gouvernance du Lean ESB. Il est donc possible de suivre tout écart sur ces indicateurs. De manière complémentaire, le système de suivi peut aussi gérer des évènements, des échanges entre ressources… Couplée au suivi d'exécution des processus construits à partir d'un assemblage de service, cette activité de monitoring permettra de détecter les anomalies. Ces anomalies sont ensuite traitées et corrigées en activant le gestionnaire de chorégraphie dynamique pour assurer une reprise sur défaillance.

L'architecture du middleware support des services industriels doit donc permettre

- d'assurer une médiation inter-métier au sein de l'entreprise et avec ses partenaires
- de composer les processus en suivant la chaine de la valeur et gérer l'allocation des ressources au plus juste
- de superviser la production et assurer une reprise sur défaillance.

6.2.2 Architecture

Notre architecture est conçue comme une surcouche à un ESB traditionnel pour gérer les propriétés fonctionnelles et non fonctionnelles des services industriels. Comme nous l'avons spécifié dans le chapitre 5, ces services industriels intègre une taxonomie associée à l'organisation de la production. Le bus de services Lean permet donc de relier le niveau métier au niveau technologique pour aligner le SI de l'entreprise et son organisation métier.

Relié à la logique industrielle, le bus Lean propose des modules de médiation « sémantique » entre les différents systèmes de l'entreprise, de chorégraphie pour adopter une réelle logique en flux tiré, de supervision et de gouvernance pour superviser les processus de bout en bout et de routage intelligent pour organiser les flux physique de la production. Les fonctionnalités « technologiques » (telles que la sécurité des échanges, le routage des messages, transformation de l'information…) sont sous-traitées au bus de service classique. À travers cette architecture, nous respectons les besoins du SI en termes d'ouverture, de souplesse et agilité, en interopérabilité en intégrant les besoins d'une démarche Lean Manufacturing.

Comme nous l'avons vu dans le chapitre 5, Un service industriel est défini à travers son interface (définissant les entrées et sorties du service), son comportement, ses propriétés fonctionnelles et non fonctionnelles, et ses entrées/sorties. Son comportement définit les modes d'activation des services manuellement, ou semi automatiquement ou encore automatiquement. La couche de sémantique industrielle repose sur la taxonomie que nous avons introduite et est construite sur l'ontologie pivot ISA S-95. Cette couche alimente, d'une part, le registre de services industriels et d'autre part les modules inter–métier du bus de services Lean en liant les modules de médiation, de routage intelligent, de chorégraphie dynamique et de monitoring & gouvernance aux propriétés fonctionnelles et non fonctionnelles des services industriels. Les modules inter-métier et les modules informatique du bus de Services Lean et son architecture sont présentés dans le Tableau 6.1. Modules du Lean ESB.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

Modules Inter – Métier	Modules Informatiques
Médiation : Données Produit et Production Définition Processus de Production	Transformation des Données Transformation Syntaxique Transformation Sémantique
Routage Intelligent : Gestion des Contraintes Industrielles Ordonnancement et Organisation des Flux Physiques	Transport et Connectivité Routage des Messages et des évènements
Chorégraphie Dynamique : Activation et Composition des Services Industriels Définition des Processus Physiques	Modélisation et Exécution des Processus Métier Outils BPM – BMN – BPD
Monitoring & Gouvernance : Supervision des Processus Physiques Supervision des Services Industriels	Supervision des Processus Supervision des Services Supervision des Messages et évènements Outils BAM

Tableau 6.1. Modules du Lean ESB

Nous nous appuyons sur l'architecture du bus de service sémantique SemEUsE[6], (Figure 6.2) pour faire les spécifications techniques du Lean ESB. Ce choix d'architecture est lié aux outils open source (ESB PETALS, Orchestra et Dragon) support d'une implémentation distribuée, un monitoring lié à la qualité du service (QoS) et d'une intégration d'un registre sémantique. Le projet PETALS est construit sur JBI (Java Business Integration) et SCA (Service Component Architecture) et est développé dans le consortium OW2. Le registre sémantique du bus de service SemEUsE est enrichi par le Framework open source Dragon qui est une solution de gouvernance pour les Architectures Orientées Services. Dragon stocke et récupère les services en se basant sur leur définition sémantique et en tenant en compte leurs propriétés fonctionnelles et non fonctionnelles. Le langage utilisé pour la définition sémantique des services est YASA4WSDL (Chabeb& Tata, 2008).

Notre Lean ESB est implémenté, grâce à une application de type Mashup qui permet de synthétiser les données provenant de plusieurs applications, comme une « surcouche métier » au-dessus de l'extension sémantique de l'ESB « PETALS[7] ». Pour agréger au sein du Lean ESB des contenus ou des services provenant de plusieurs applications, nous recourons à l'utilisation de la technologie Mashup[8]qui permet de combiner des données, présentations ou fonctionnalités provenant de plusieurs sources en utilisant des API (Application Program Interface) ouvertes. Ces interfaces de programmation utilisent des services web qui permettent de créer de nouveaux services composites en intégrant des programmes, des services ou des contenus. Les Mashups

[6] http://www.semeuse.org/architecture.html

[7] http://www.petalslink.com/produits/petals-esb

[8] http://www.journaldunet.com/solutions/0606/060628-qr-mashup-hybride.shtml

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

font appel à la technologie Ajax[9] (Asynchronous JavaScript And XML) et à des procédés d'extraction et d'agrégation de contenu tels que RSS[10] (Really Simple Syndication) ou Atom[11] (formats de syndication du contenu). De nombreux éditeurs, comme les principaux acteurs de l'Internet (Google, Yahoo, Amazon, eBay ou encore Microsoft), fournissent des API open source afin d'inciter à concevoir des Mashups exploitant leur contenu (Auffray, 2006).

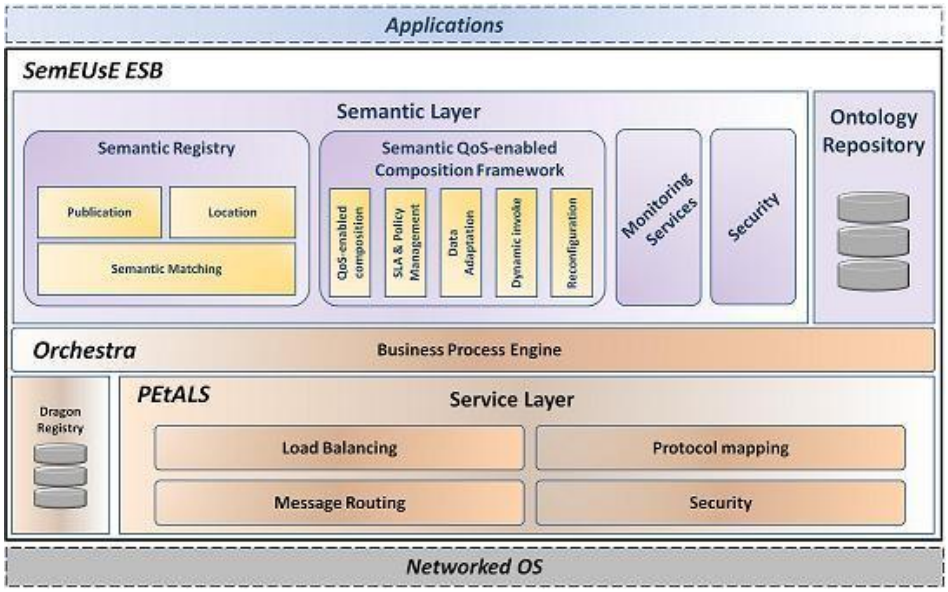


Figure 6.2. SemEUsE – Bus de Service Sémantique

L'architecture classique d'un Mashup (Figure 6.3) regroupe les composants suivants (Mikkonen & Salminen, 2011) :

- Gestionnaire du Mashup : il s'assure que les contenus et les services sont disponibles et s'adaptent aux changements qui peuvent avoir lieu quand les interfaces des fournisseurs de contenus ou de services sont modifiées
- Services : les Mashups doivent être structurés de manière à modifier facilement les interactions entre le cœur de l'application et les services que le système utilise. Les technologies utilisées sont XMLHTTPRequest, XML-RPC, JSON-RPC, SOAP, REST.
- Interface Utilisateur (Widgets) : ce module permet de visualiser les données produites par le Mashup et permet à l'utilisateur d'interagir avec ces données. Les interfaces des Mashup sont généralement définies à partir de bibliothèques existantes de Widgets (HTML, CSS et Javascript) ou parfois d'un langage compilé.

[9] http://www.zdnet.fr/actualites/ajax-une-technologie-web-prometteuse-pour-les-besoins-applicatifs-des-entreprises-39286339.html

[10] http://www.journaldunet.com/solutions/0410/041029_faq_rss.shtml

[11] http://www.alsacreations.com/article/lire/33-syndication-rss-atom.html

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

- Création du Mashup : ce module regroupe un ensemble de fonctions permettant de « matcher » les données. Les données échangées sont communément basées sur les formats JSON et XML.
- Modélisation des données : ce module permet de composer le modèle de données du Mashup. Le modèle de données est responsable de la gestion et de la maintenance des données utilisées pas l'application. Il regroupe des opérations permettant l'accessibilité et l'extraction des données provenant du web, de fichiers locaux ou de périphériques systèmes. Des opérations de formatage peuvent être nécessaires pour transformer les données extraites dans un format facile à utiliser.

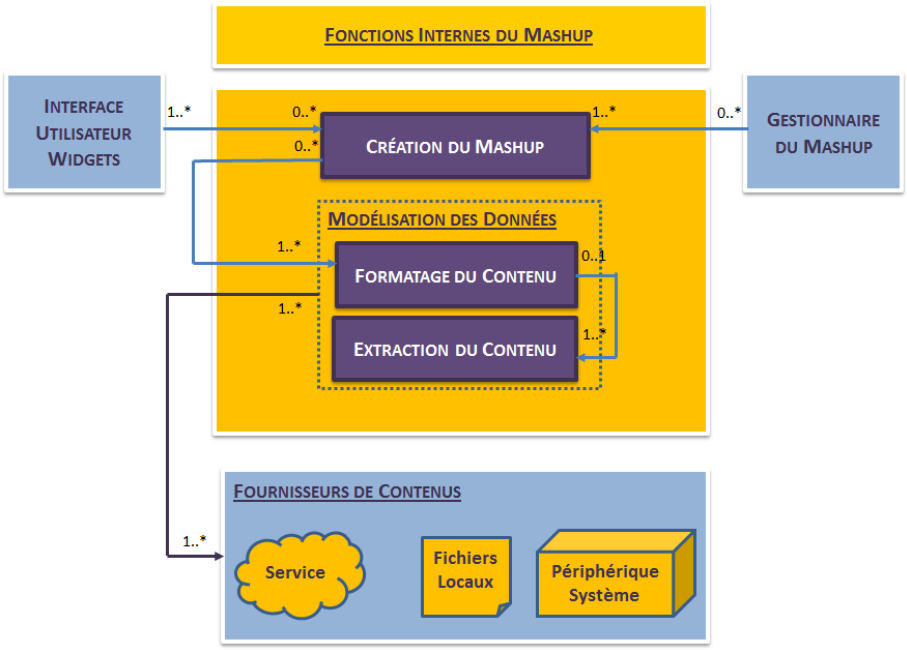


Figure 6.3. Architecture du Mashup (Mikkonen & Salminen, 2011)

Les « Business Mashups » utilisent les offres SaaS (Software as a Service). Ils font appel à des fonctionnalités liées aux Architectures Orientées Services et mettent en œuvre un nouveau modèle de business. Le « Business Mashup » permet d'intégrer des services de données et des services industriels pour développer de nouveaux services qui s'intègrent facilement, grâce à une interface web conviviale, en combinant des services internes et externes à l'entreprise (Mikkonen & Salminen, 2011). Le « Business Mashup » diffère du Mashup classique pour ce qui concerne le niveau d'intégration de l'environnement métier, la sécurité et le contrôle d'accès, la gouvernance et les outils de programmation sophistiqués.

L'architecture d'un bus métier Lean, cœur de notre contribution, se base sur la définition d'une Architecture Orientée Services dirigée par les données (Data Driven Service Oriented Architecture) et utilise :

- un ensemble de méta-modèles qui permet de définir et structurer les données pour faciliter les échanges.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

- une architecture de Mashup métier, illustrée dans la Figure 6.4, qui regroupe un Mashup de données et un Mashup de services.

La création du Mashup de données repose sur la transformation syntaxique et sémantique des données issues des différents composants du SI. Cette opération est réalisée par un module de médiation sémantique inter-métier du Lean ESB qui permet de « formater » le contenu des données grâce aux méta-modèles (présentés dans la section 6.3.4) basés sur notre ontologie pivot décrite dans la section 6.3.2. Ce module utilise les fonctionnalités offertes par le module de routage intelligent pour assurer le transport des flux de données vers les destinataires. Le module de routage intelligent organise les flux physiques de l'atelier et achemine les messages et évènements informatiques, en tenant compte des contraintes industrielles et de la logique de gestion métier. La création du Mashup de services repose sur la sélection des services et la gestion de leur description fonctionnelle via le module de chorégraphie dynamique. La chorégraphie dynamique permet de composer les processus de production selon les besoins exprimés par le client final. Elle utilise les méta-modèles de définition de la production pour modéliser les processus métier. Enfin, le module de monitoring et gouvernance analyse les flux des données et les compare aux flux des services. Il permet de détecter les anomalies de la production et intègre une fonction de traçabilité et de supervision pour définir des indicateurs clés de performance.

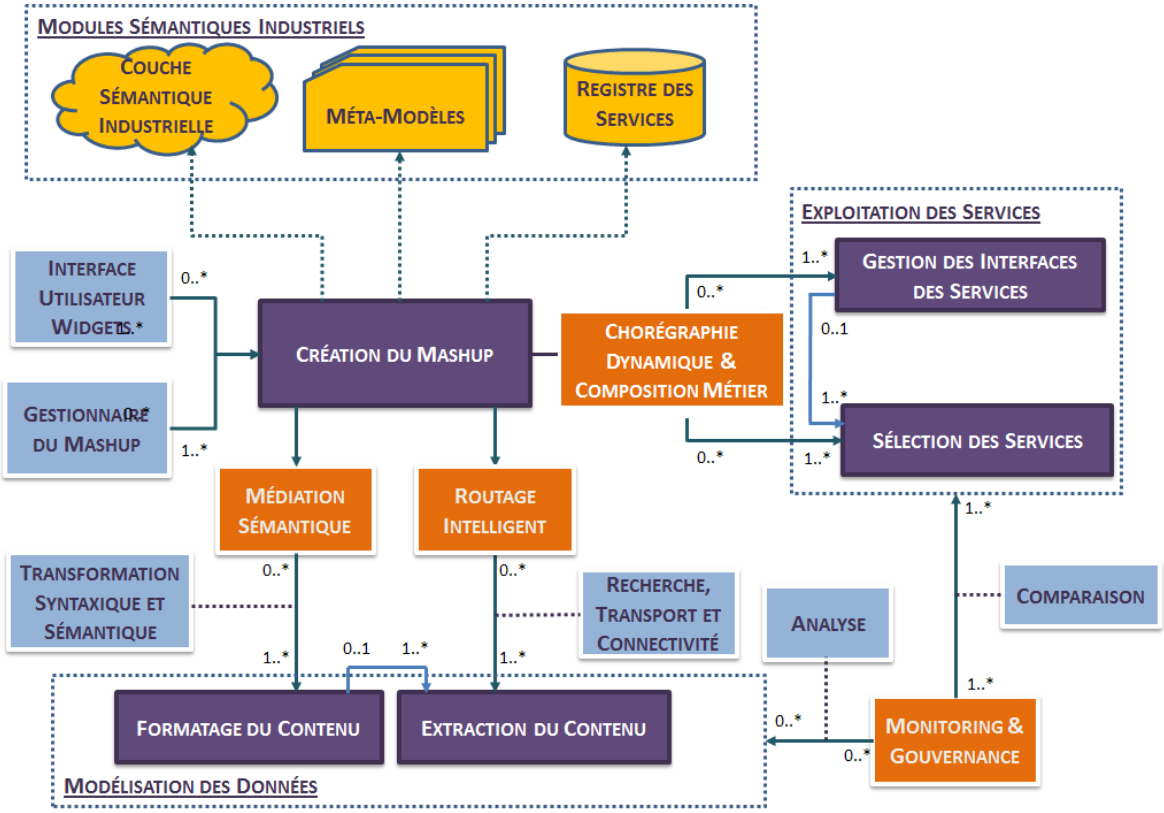


Figure 6.4. Notre Architecture du Mashup

Les modules du Lean ESB sont illustrés dans la Figure 6.5. Les diagrammes de classe présentés dans ce chapitre représentent les sources de données d'entrée d'une application Mashup pour l'entreprise.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

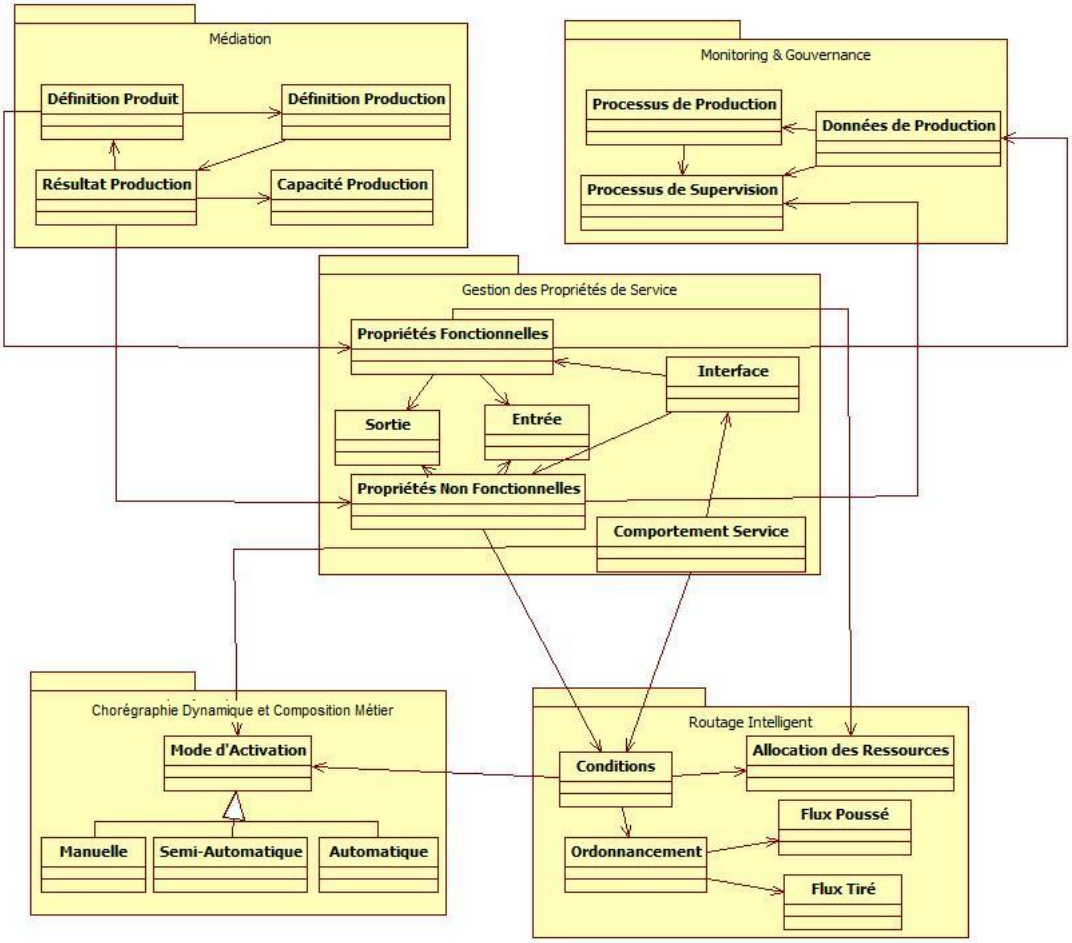


Figure 6.5. Description des Modules du Lean ESB

Le diagramme de composants, illustré dans la Figure 6.6, permet de détailler les interfaces d'échange entre les différents modules du Lean ESB.

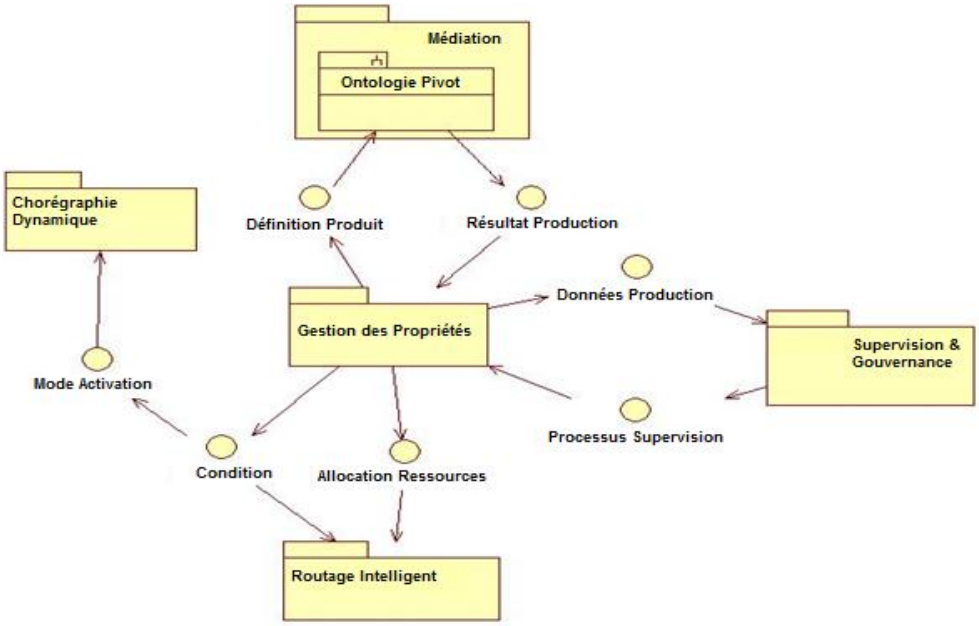


Figure 6.6. Interfaces d'Échanges entre les Modules du Lean ESB et les Propriétés du Service Industriel

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

Chaque module utilise ou met à jour directement ou indirectement les propriétés fonctionnelles et non fonctionnelles du service industriel. Notons que les interfaces d'échange entre la gestion des propriétés du service industriel et le module de médiation intègrent en la définition du produit et les résultats de la production. Les résultats de la production sont utilisés par le module de supervision pour générer les indicateurs de performance industrielle.

Dans le cadre de cette thèse, nous nous sommes principalement intéressés à la spécification technique des modules du Lean ESB en implémentant certains points clés liés à la médiation sémantique et à la composition métier pseudo-dynamique sans toutefois les intégrer dans un middleware. En effet, notre objectif étant d'illustrer le fonctionnement de notre architecture orientée services industriels nous avons décidé de développer une plateforme web « légère » en nous focalisant sur les caractéristiques principales du service industriel.

6.2.3 **Etude de Cas**

Notre bus de service supporte une stratégie Lean en évitant les gaspillages lié à l'organisation du SI (Zayati, Sidhom, Badr, Biennier, & Moalla, 2010). Il aligne le SI sur l'organisation industrielle en offrant une interopérabilité sémantique entre les composants logiciels mis en œuvre (tels que les ERP, MES...). Le Lean ESB est organisé autour d'une architecture « Data Driven » : les processus sont lancés en fonction de la disponibilité des données ou des événements déclenchés. Cette architecture permet de mettre en œuvre une organisation industrielle en « flux tirés ». Nous nous sommes concentrés sur la définition d'un registre unique regroupant les contraintes industrielles telles que la définition de la production, du produit, des entités organisationnelles, des processus physiques, etc.

Notre étude de cas illustre l'utilisation du Mashup pour reconstruire les flux des données et de services. Nous avons volontairement choisi une étude de cas simple mais très représentative du fonctionnement du Lean ESB :

- Le module de médiation sémantique fournit une interopérabilité entre les différents métiers dans un contexte de collaboration interentreprises. Il offre une transformation syntaxique et sémantique des données et relie les modules du Lean ESB grâce à notre ontologie pivot.
- Le module de routage intelligent se base sur le « Takt Time » pour définir le programme de production des machines en s'adaptant à la demande client sans perdre en efficacité. Il participe dans le pilotage de la production Lean (en s'adaptant dans notre étude de cas au rythme des palettes et des machines) et permet de définir les flux physiques en tenant compte des contraintes industrielles et d'acheminer les messages et données liées aux événements.
- Le module de chorégraphie dynamique modélise les processus métier et gère les modes d'activation des services. Il gère l'ordonnancement de la production en flux tiré et déclenche les services composant les processus.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

- Le module de monitoring et gouvernance se base sur les principes du Lean afin d'éviter les gâchis dans le SI de l'entreprise. Il supervise les temps de réponse et le « Takt Time »… et détecte les anomalies de production.

Pour illustrer la mise en œuvre du Lean ESB, nous avons réalisé des expérimentations au sein de l'atelier académique « AIP (Atelier Inter établissements de Productique) – PRIMECA Rhône Alpes Ouest (Pôle de Ressources Informatiques pour la Mécanique)[12] ». Cette structure permet l'intégration des fonctions et méthodologie liées à la production de l'entreprise et la formation aux nouvelles formes organisationnelles de la production, à savoir l'entreprise virtuelle. Notre étude de cas nous a permis de travailler dans un cadre présentant une chaîne logistique étendue faisant appel à un contrôle de qualité de la production entre les différents partenaires dans un cadre de collaboration interentreprises. Nous illustrons dans cette expérimentation la médiation des secteurs métier. Nous nous sommes placés au niveau de l'atelier ce qui nous permet de faire du routage et de la chorégraphie. En effet, les postes de travail pourront avoir des temps différents : chaque machine fait plusieurs opérations et est soumise à un temps dit « Takt Time ».

Chaque système de production de l'AIP-PRIMECA-RAO, illustré dans la Figure 6.7, regroupe un convoyeur central (tapis roulant) et six machines organisées sous forme d'anneau. Ces machines simulent les fonctions de stockage, déstockage, assemblage, désassemblage et les opérations de contrôle de qualité. Elles sont équipées de contrôleurs logiques programmables qui gèrent les entrées et sorties des machines. Le contrôleur logique programmable gère les étiquettes magnétiques, les capteurs, les unités moteur et les matériels de production. Les machines 4 et 6 sont respectivement gérées par les robots : « Adept One » et « RX 90 ».

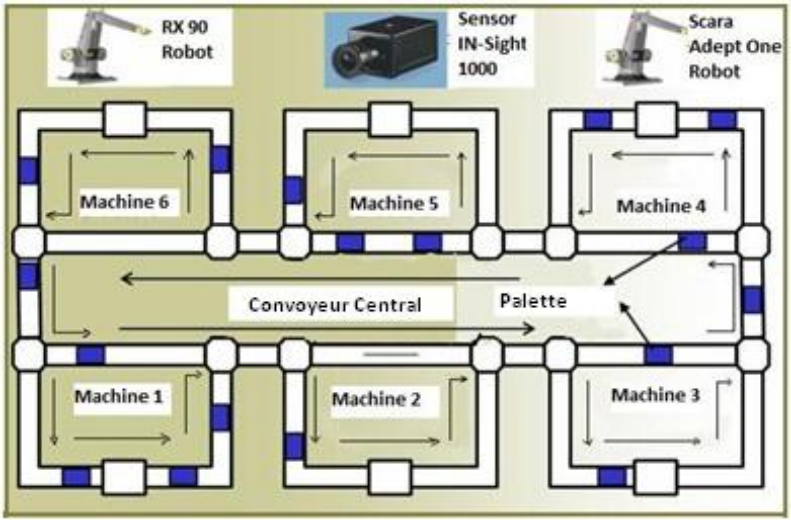


Figure 6.7. Structure de la Plateforme AIP-PRIMECA-RAO

Dans ce cadre pédagogique de simulation, la matière première regroupe des palettes vides et des pièces de différentes couleurs et formes géométriques. La combinaison de trois pièces ayant différentes couleurs et formes géométriques représente un produit fini. Dans ce cas d'étude, nous disposons de neuf combinaisons de produits finis. Chaque palette a une étiquette magnétique qui

[12] http://aiprao.insa-lyon.fr/fr/presentation_aip/index.htm

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

permet de définir le produit à fabriquer et le programme de production associé. En effet, le contrôleur logique programmable de la machine 1 définit la bande magnétique située sur la palette vide selon la définition du produit fini qui est liée à la commande client. Cette palette vide se déplace de la machine 1 vers la machine 4 via le tapis roulant afin d'assembler les pièces sur la palette vide. Le contrôleur logique programmable de la machine 4 lit l'étiquette et cherche la définition du produit pour charger le programme d'usinage associé : selon la définition du produit, la machine 4 assemble les pièces de différentes couleurs et formes dans un ordre précis.

À l'issue de cette étape, le produit fini composé d'une palette qui regroupe 3 pièces est contrôlé par la machine 5 et ensuite stocké dans la machine 2 si la qualité du produit est conforme au besoin, sinon, le produit fini est stocké dans la machine 3 pour être ensuite transféré à la machine 6 qui procédera au désassemblage des pièces pour les réutiliser. La description fonctionnelle du système de production est illustrée dans la Figure 6.8. Dans cette figure, nous présentons un modèle de flux des données et des services qui sont associés au processus de production d'une palette. Les flux de données et les services sont représentés respectivement dans la figure par des rectangles violet et orange.

Le processus de fabrication et de pilotage de l'atelier, représenté dans cette figure, est créé à partir d'un Mashup de données et d'un Mashup de services. En effet, la composition des processus repose sur la sélection de nouveaux services créés grâce au Mashup de services. Le nouveau service, créé à partir du Mashup, est enrichi à son tour de contenus provenant du Mashup des données (flux des données). La chorégraphie dynamique assure la sélection des services pour composer les processus métier selon le besoin en temps réel et le routage intelligent procure le flux de données nécessaire à l'exécution d'un service grâce à la médiation dynamique qui permet d'interpréter les contenus.

La machine 7 représente le poste de contrôle de l'atelier qui gère le tableau de bord de tout le système et les six machines de l'atelier. Elle gère les modes de fonctionnement, les arrêts, la synchronisation des temps d'exécution et la sécurité de tous les équipements. Elle charge les programmes d'usinage des machines et synchronise les équipements de tout l'atelier. La machine 7 interagit avec les systèmes suivants (introduits dans la section 4.2.3) :

- ERP (Enterprise Resource Planning) : Système d'information intégré supportant les différents processus métier et connecté aux ERP des partenaires
- MES (Manufacturing Execution System) : Système de gestion et de contrôle des processus de production reliant les systèmes de planification et de contrôle
- SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) : Système de contrôle et de monitoring des machines de l'atelier, interfacé aux contrôleurs logiques programmables et au capteur de la machine 5

Par conséquent, la machine 7 interconnecte le système physique de production (i.e. l'ensemble des machines de l'atelier et le MES qui gère à son tour le système SCADA) et le système de gestion de la production (ERP). Elle récupère le plan de production de l'ERP définissant le produit, les quantités commandées et les délais de fabrication et transfère ces informations au MES via le

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

module de médiation sémantique du Lean ESB. Le MES récupère l'ordonnancement de la production et la définition du produit et renvoie les informations liées aux équipements, règles de production et commandes opérationnelles au système SCADA. Celui-ci retourne des réponses associées aux opérations, équipements et données du processus de production au MES.

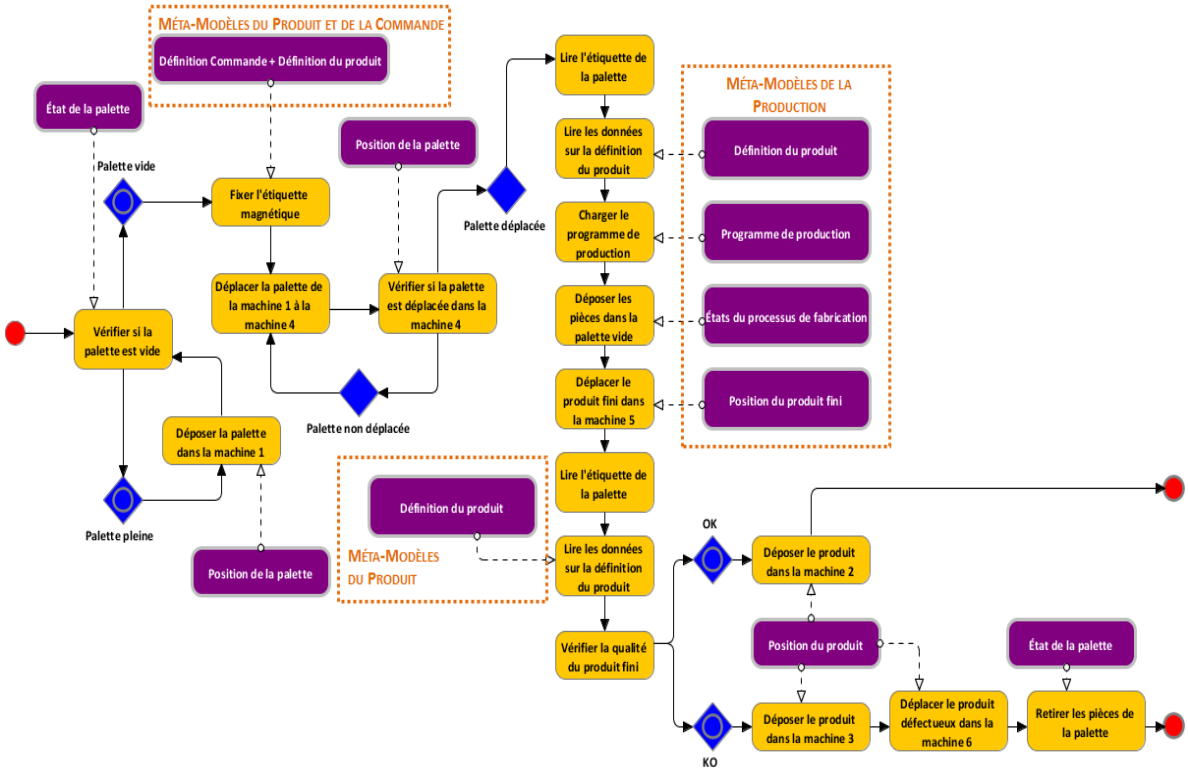


Figure 6.8. Organisation des Flux de production vue d'une Palette

Notre étude de cas met l'accent sur deux problématiques :

- La modélisation des échanges d'information entre les ERP des différents partenaires de la chaîne logistique étendue
- La connexion des différents systèmes installés sur la machine 7 (ERP, MES et SCADA)

Dans notre exemple (du chapitre 5), il faut interconnecter l'ERP du fournisseur produisant les palettes vides, l'ERP du sous-traitant fabriquant les pièces multicolores et l'ERP de l'entreprise qui assemble les jouets pour enfant afin de répondre à la commande de 100 produits finis dans les délais exigés par le client. La contribution apportée par les modules du Lean ESB, est décrite dans les sections qui suivent.

6.3 Module de Médiation Sémantique Inter-Métier

Le module de médiation est au cœur du Lean ESB. Il supporte une médiation syntaxique et une médiation sémantique. La couche de sémantique industrielle permet d'assurer la médiation entre les composants métier de l'entreprise. Elle intègre la définition du produit, la définition de la production, les résultats de la production et les capacités de production. Pour décrire la sémantique industrielle, nous avons construit une ontologie pivot à partir du standard ISA S-95

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

(pour ce qui concerne le système de contrôle et la gestion de production) et l'EO (Enterprise Ontology) pour la définition de l'organisation et des termes métier.

Comme l'illustre la Figure 6.9, le module de médiation sémantique inter-métier crée le Mashup des données en filtrant, triant et fusionnant les flux des données provenant des logiciels métier. Ce processus de formatage des données est géré par la transformation syntaxique. Grâce aux méta-modèles produit, définition, capacité et performance de la production (Figure 6.32, Figure 6.33, Figure 6.34, Figure 6.35), le module de médiation sémantique permet aussi d'extraire les données pertinentes, de les traduire en données « métier » et de les combiner pour générer des contenus répondant à un besoin métier. Ce processus d'extraction est géré grâce la transformation sémantique des différents modèles de données classés par secteur métier.

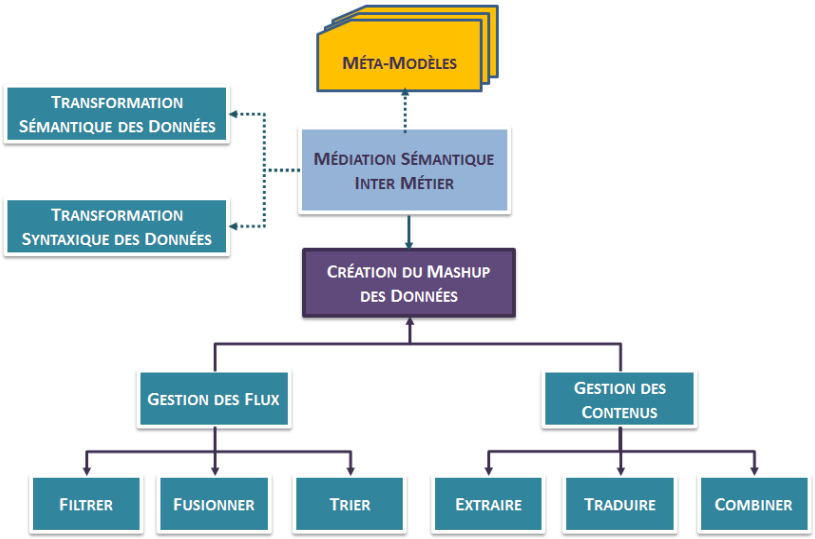


Figure 6.9. Création du Mashup des Données par le Module de Médiation Sémantique Inter-Métier

Ce module permet d'assurer l'interopérabilité avec les briques existantes du SI. A partir de l'extraction partielle des tables provenant des bases de données des différents logiciels métier exportées en format CSV, ce module les transforme en descriptions XML en utilisant un mappage simplifié du modèle de données de la BD initiale (Figure 6.10).

```
<Customer_Order_Definition>
   <Date> 15/08/2012 </Date>
   <Delivery_Date> 31/08/2012 </Delivery_Date>
   <Product_Definition>
      <Product_Reference> P00001 </Product_Reference>
      <Product_Name> Jouet Nouveau Ne 6 mois </Product_Name>
      <Product_Quantity> 100 </Product_Quantity>
   </Product_Definition>
   <Bill_Of_Material>
      <Material_Definition>
         <Material Reference="MAC003" Name="Machine_Assemblage" />
         <Material Reference="CONT001" Name="Controleur_Qualite" />
         <Material Reference="MAC005" Name="Machine_Emballage" />
      </Material_Definition>
   </Bill_Of_Material>
   <Bill_Of_Resource>
      <Resource_Definition>
         <Resource Reference="MP0002" Name="Palette en Bois 2cm*10cm" Quantity="100" />
         <Resource Reference="MP0003" Name="Triangle Rouge en Plastique" Quantity="100" />
         <Resource Reference="MP0004" Name="Rectangle Jaune en Plastique" Quantity="100" />
         <Resource Reference="MP0005" Name="Cercle Bleu en Plastique" Quantity="100" />
      </Resource_Definition>
   </Bill_Of_Resource>
</Customer_Order_Definition>
```

Figure 6.10. Description XML d'une Commande Client Extraite de la BD d'OpenERP

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

Dans un premier temps, il fait un mappage entre les tags XML des fichiers et les tags XML de l'ontologie pivot, en adéquation avec le besoin métier. Ensuite, il procède à un matching des descriptions métier en vue d'envoyer les données à l'application cible.


```xml
<Production_Definition>
    <Product_Definition Reference="P00001" Name="Jouet Nouveau Ne 6 mois" Quantity="100" />
        <Process_Segment>
            <Procurement_Order>
                <Reference>PO00003</Reference>
                <Resource Reference="MP0002" Name="Palette en Bois 2cm*10cm" Quantity="100" />
                <Operation Sequence="1" Name="Select Supplier" />
                <Operation Sequence="2" Name="Send Supplier_Order" />
            </Procurement_Order>
            <Procurement_Order>
                <Reference>PO00004</Reference>
                <Resource>
                    <Reference>MP0003</Reference>
                    <Name>Triangle Rouge en Plastique</Name>
                    <Quantity>100</Quantity>
                </Resource>
                <Resource>
                    <Reference>MP0003</Reference>
                    <Name>Rectangle Jaune en Plastique</Name>
                    <Quantity>100</Quantity>
                </Resource>
                <Resource>
                    <Reference>MP0003</Reference>
                    <Name>Cercle Bleu en Plastique</Name>
                    <Quantity>100</Quantity>
                </Resource>
                <Operation Sequence="3" Name="Select Supplier" />
                <Operation Sequence="4" Name="Send Supplier_Order" />
            </Procurement_Order>
            <Manufacturing_Order>
                <Quality_Management Operation_Sequence ="5" Reference="MO_00001" Resource_Reference="MP0002" Material_Reference="CONT001" />
                <Assembly_Order Operation_Sequence ="6" Reference="MO_00002" Material_Reference="MAC003">
                    <Resource_Reference>MP0002</Resource_Reference>
                    <Resource_Reference>MP0003</Resource_Reference>
                    <Resource_Reference>MP0004</Resource_Reference>
                    <Resource_Reference>MP0005</Resource_Reference>
                </Assembly_Order>
                <Quality_Management Operation_Sequence ="7" Reference="MO_00003" Material_Reference="CONT001">
                    <Resource_Reference>MP0003</Resource_Reference>
                    <Resource_Reference>MP0004</Resource_Reference>
                    <Resource_Reference>MP0005</Resource_Reference>
                </Quality_Management>
                <Packaging_Order Operation_Sequence ="8" Reference="MO_00004" Resource_Reference="P00001" Material_Reference="MAC005" />
            </Manufacturing_Order>
            <Delivery_Order Reference="DO001" Product_Location_Source="Magasin1" Delivery_Order="29/08/2012">
                <Operation Sequence="9" Name="Select Transporteur"/>
            </Delivery_Order>
        </Process_Segment>
        <Work_Definition>
            <Bill_Of_Resource>
                <Resource Reference="MP0002" Name="Palette en Bois 2cm*10cm" Quantity="100" />
                <Resource Reference="MP0003" Name="Triangle Rouge en Plastique" Quantity="100" />
                <Resource Reference="MP0004" Name="Rectangle Jaune en Plastique" Quantity="100" />
                <Resource Reference="MP0005" Name="Cercle Bleu en Plastique" Quantity="100" />
            </Bill_Of_Resource>
            <Bill_Of_Material>
                <Manufacturing_Bill>
                    <Material Reference="MAC003" Name="Machine_Assemblage" />
                    <Material Reference="CONT001" Name="Controleur_Qualite" />
                    <Material Reference="MAC005" Name="Machine_Emballage" />
                </Manufacturing_Bill>
                <Work_Material_Bill>
                    <Manufacturing_Order>
                        <Reference>MO_00001</Reference>
                        <Name>Quality_Management</Name>
                        <Reference>MO_00002</Reference>
                        <Name>Assembly</Name>
                        <Reference>MO_00003</Reference>
                        <Name>Quality_Management</Name>
                        <Reference>MO_00004</Reference>
                        <Name>Packaging</Name>
                    </Manufacturing_Order>
                </Work_Material_Bill>
            </Bill_Of_Material>
            <Work_Instruction>
                <Resource Reference="MP0002, MP0003, MP0004, MP0005" State="Available">
                <Material Reference="MAC003, CONT001, MAC005" State="Free">
                <Delivery_Order Date="29/08/2012"/>
            </Work_Instruction>
        </Work_Definition>
    </Product_Definition>
</Production_Definition>
```


Figure 6.11. Description XML Enrichie grâce à l'Ontologie Pivot

Pour ce faire, il procède au parsing du fichier XML initial (grâce à l'outil XMLBeans[13]) provenant de la base de données de l'application cible, insère les données métier enrichies, transforme la

[13] http://xmlbeans.apache.org/

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

description XML (un exemple de fichier est illustré dans la Figure 6.11) en CSV et l'importe dans la base de données. Cet algorithme de médiation sémantique est illustré dans la Figure 6.12.

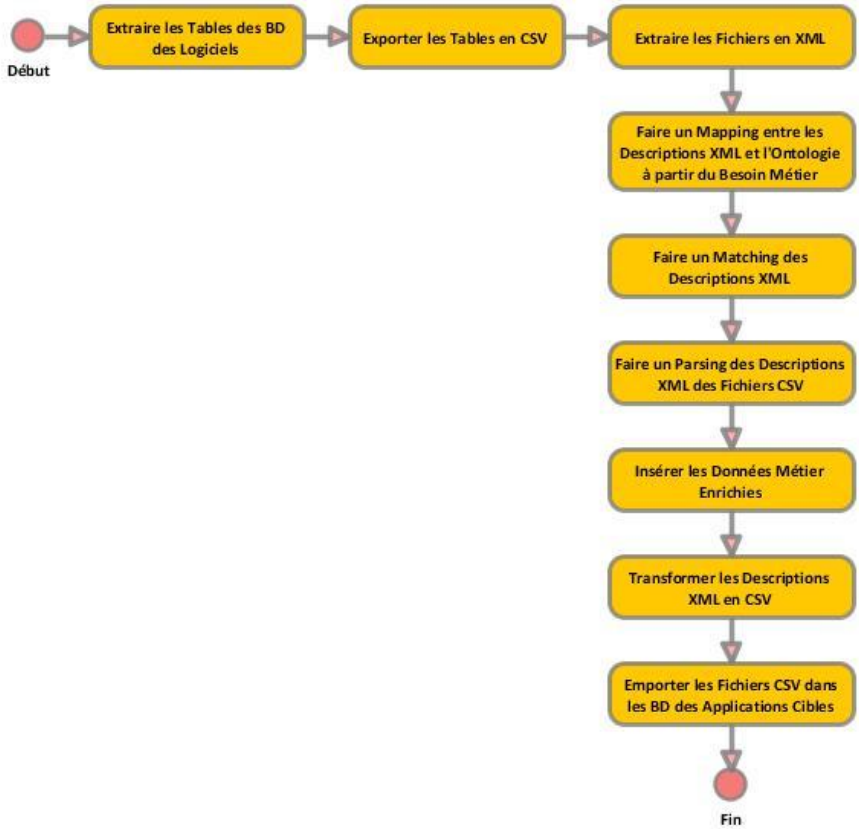


Figure 6.12. Algorithme de Médiation Sémantique entre Applications Métier

6.3.1 Composants du Module de Médiation

Le module de médiation permet de faire communiquer efficacement les composants utilisant le Lean ESB en rendant l'information compréhensible par transformation syntaxique et sémantique. Ce module utilise la norme ISA S-95,sa terminologie, son modèle d'information et son modèle d'opération pour diffuser des informations liées au produit à fabriquer, à la définition du processus de production et aux résultats de production (Figure 6.13).

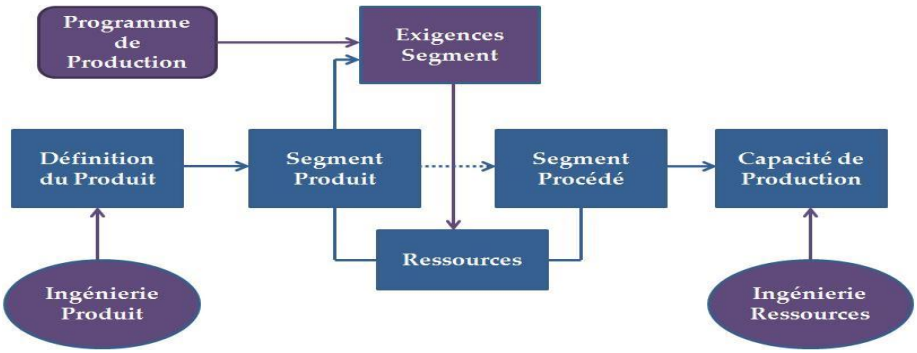


Figure 6.13. ISA et les Cycles de Production

Le module de médiation extrait l'information liée au produit et aux ressources impliquées dans la production dans les propriétés fonctionnelles du service industriel. Ces informations définissant la

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

production sont utilisées pour identifier les contraintes de l'atelier concernant l'allocation des ressources (données exploitées par le module de routage intelligent) et le mode d'activation des services (utilisé par le module de chorégraphie dynamique). Enfin, les résultats de production seront gérés par le module de monitoring et gouvernance (Figure 6.14).

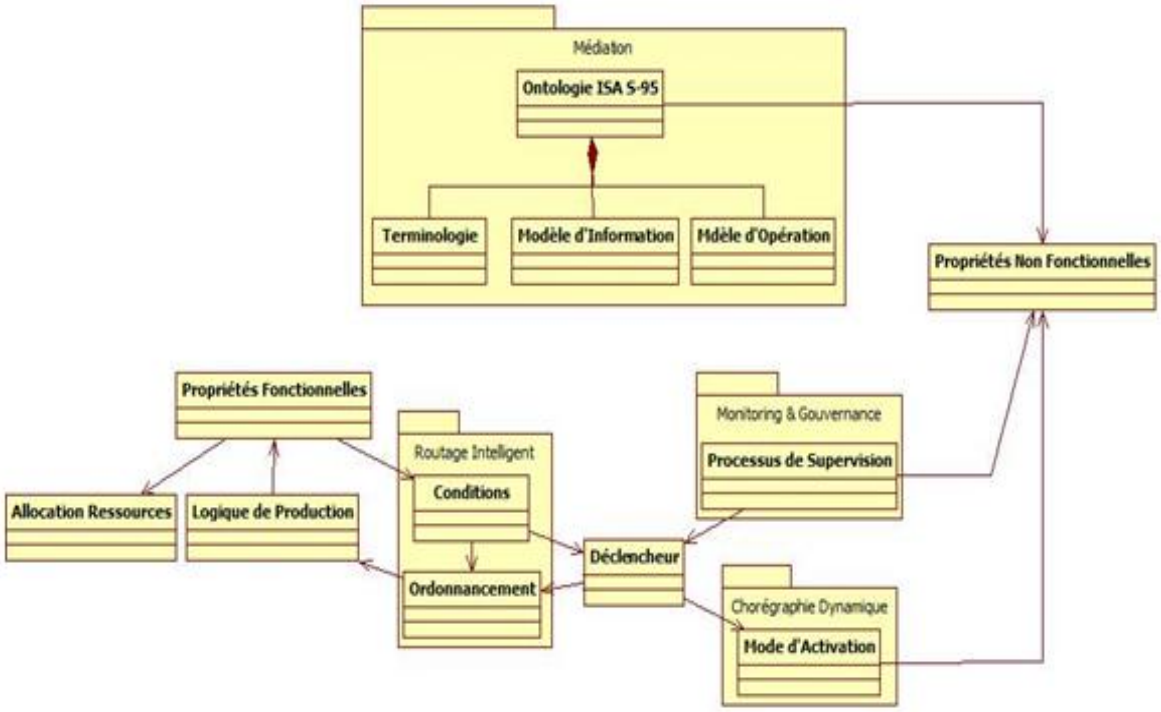


Figure 6.14. Description du Module de Médiation

Nous procédons, dans ce qui suit, au développement de cette ontologie à partir du standard ISA S-95 sur l'éditeur « PROTEGE[14] » et nous décrirons les principaux concepts de l'ontologie EO. Nous adoptons, ensuite, un « matching » des deux ontologies métier afin de développer la description sémantique du registre des services industriels.

6.3.2 Description des Référentiels Ontologiques

6.3.2.1 Ontologie Pivot ISA S-95

Une ontologie est une description formelle explicite des concepts dans un domaine particulier. Pour intégrer le SI industriel et concilier les facettes gestion et système de contrôle, nous proposons d'utiliser le standard ISA S-95 comme ontologie pivot. La norme ISA S-95 définit un modèle (Figure 6.15) décrivant les données et non pas la structure des messages échangés entre le système de pilotage logistique et le système de contrôle de la production (ANSI/ISA, 2007).

Ce standard utilise le langage B2MML (Business to Manufacturing Mark up Language) pour modéliser les métadonnées. Des modèles de messages regroupent des informations sur la capacité de production (capacité des ressources et des segments de processus), des informations sur la définition de la production, des informations sur la production (programme de production

[14] http://protege.stanford.edu/

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

et performance de production). Ceci permet de couvrir les besoins de communication entre secteurs métier « gestion de production » et « contrôle de production ».

Les concepts retenus représentent les classes du méta-modèle de l'ontologie (ordonnancement de la production, performance de production, capacité de production, définition de la production et maintenance). Nous avons choisi d'intégrer les concepts de maintenance pour pouvoir redéfinir la production en cas de panne machine.

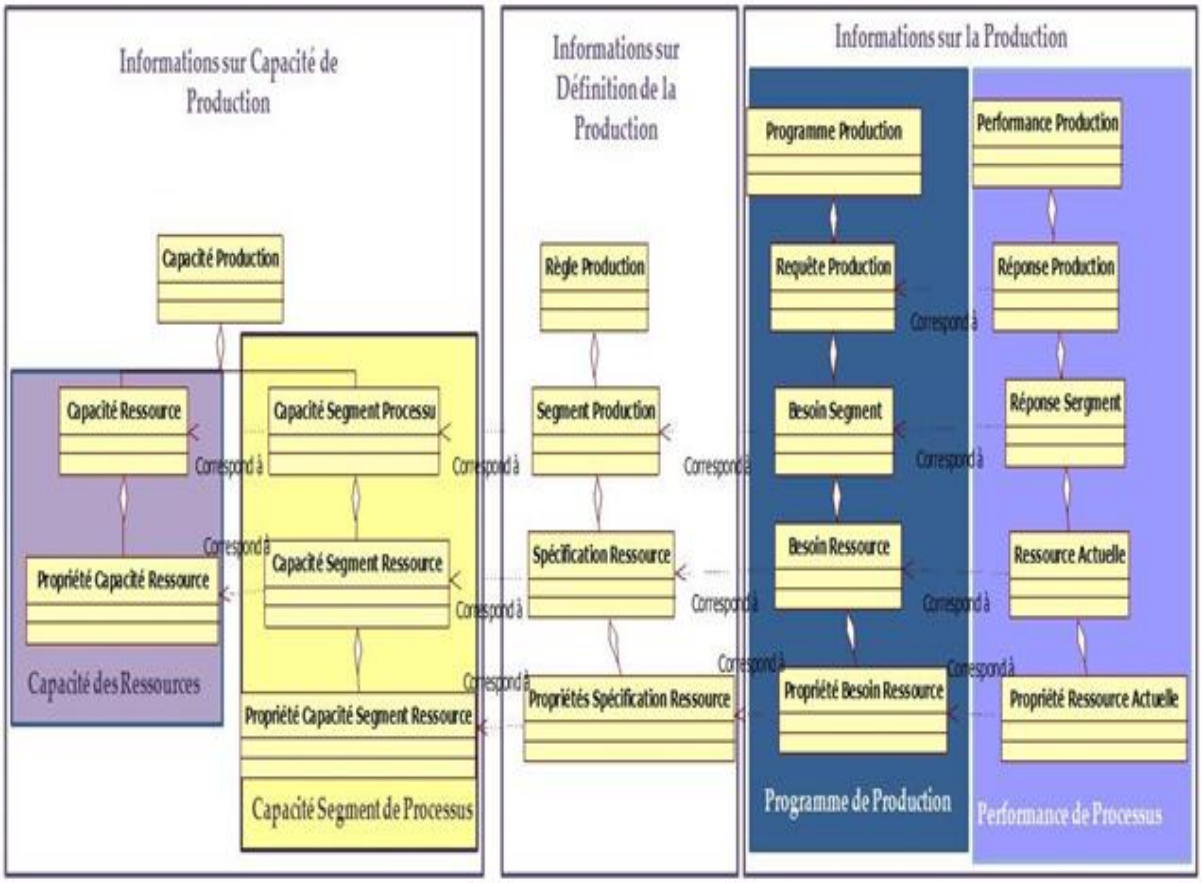


Figure 6.15. Modèle ISA S-95

Nous avons procédé à la construction de l'ontologie ISA S-95 grâce à l'éditeur « Protégé ». Les concepts sont ensuite décrits en RDF (Resource Description Framework), un langage basé sur XML (Figure 6.16). La définition du produit regroupe l'ensemble des ressources utilisées dans les étapes de production des différents produits (Process Segment), les dépendances entres les segments de processus (Process Segment Dependency), la définition du travail (Work Definition) qui représente les étapes opérationnelles et les règles de production du produit (Product Rule). La stratégie de collaboration interentreprises repose sur un ensemble de processus collaboratifs dynamiquement composées grâce à la chorégraphie des services.

Dans notre exemple de fabrication de jouets pour enfant, la définition du produit portant sur la fabrication de 100 jouets selon le modèle de l'ontologie pivot se présente comme l'illustre la Figure 6.17. A la réception d'une commande client, les informations liées aux spécifications des produits sont extraites et utilisées pour sélectionner les services industriels qui peuvent être

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

exécutés. Suite au processus de sélection, un message est livré au module de routage (à savoir les spécifications du produit, les délais de livraison et les quantités commandées).

Figure 6.16. Visualisation de quelques Concepts de l'Ontologie ISA S-95 Générée par le Plugin OWLVIZ de « Protégé »

Ce message est défini comme un « Ordre de Travail » et utilise la définition du segment de travail pour organiser les informations relatives à la spécification des tâches de production.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

```xml
<Product_Definition>
    <Product_Reference> P00001 </Product_Reference>
    <Product_Name> Jouet nouveau ne 6mois </Product_Name>
    <Product_Quantity> 100 </Product_Quantity>
<Bill_Of_Material>
    <BOM_Reference> BOM0001 </BOM_Reference>
    <BOM_Name> BOM_P00001 </BOM_Name>
    <Component_Reference> MP0002 </Component_Reference>
    <Component_Name> Palette en Plastique 2cm*10cm </Component_Name>
    <Component_Quantity> 100 </Component_Quantity>
    <BOM_Reference> BOM0002 </BOM_Reference>
    <BOM_Name> BOM_P00001 </BOM_Name>
    <Component_Reference> MP0003 </Component_Reference>
    <Component_Name> Triangle Rouge en Plastique </Component_Name>
    <Component_Quantity> 300 </Component_Quantity>
    <BOM_Reference> BOM0003 </BOM_Reference>
    <BOM_Name> BOM_P00001 </BOM_Name>
    <Component_Reference> MP0004 </Component_Reference>
    <Component_Name> Rectangle Jaune en Plastique </Component_Name>
    <Component_Quantity> 300 </Component_Quantity>
    <BOM_Reference> BOM0004 </BOM_Reference>
    <BOM_Name> BOM_P00001 </BOM_Name>
    <Component_Reference> MP0005 </Component_Reference>
    <Component_Name> Cercle Bleu en Plastique </Component_Name>
    <Component_Quantity> 300 </Component_Quantity>
</Bill_Of_Material>
<Bill_Of_Resource>
<Resource_Reference> MAC003 </Resource_Reference>
<Resource_Name> Machine_Assemblage </Resource_Name>
<Resource_Reference> CONT001 </Resource_Reference>
<Resource_Name> Controleur_Qualite </Resource_Name>
</Bill_Of_Resource>
<Manufacturing_Order>
    <Manufacturing_Order_Reference> MO_00001 </Product_Name>
    <Manufacturing_Name> Commande00045_Client00011 </Manufacturing_Name>
    <Manufacturing_Location> Magasin1 </Manufacturing_Location>
    <Procurement_Location> P00001:Production>Magasin1 </Procurement_Location>
</Manufacturing_Order>
    <Product_Rule>
    <Product_Rule_Reference> PR00001 </Product_Rule_Reference>
    <Product_Rule_Resource_Disponibility> MAC003_Available
</Product_Rule_Resource_Disponibility>
<Product_Rule_Reference> PR00002 </Product_Rule_Reference>
    <Product_Rule_Resource_Disponibility> CONT001_Available
</Product_Rule_Resource_Disponibility>
<Product_Rule_Asembly_Reference> PRA00001 </Product_Rule_Reference>
    <Product_Rule_Asembly_Order> MP0002>MP0003>MP0004>MP0005
</Product_Rule_Asembly_Order>
    </Product_Rule>
</Product_Definition>
```


Figure 6.17. Description XML de la Définition de la Production

La définition du travail est illustrée dans la Figure 6.18 et permet de définir le segment qui est un groupement logique des ressources, des équipements et des matériels nécessaires pour lancer la production. La définition du travail fournit également des étapes opérationnelles de la production (Work Instruction) et contrôle les flux des ressources (Bill of Resources) ainsi que le flux de matière (Bill of Material).

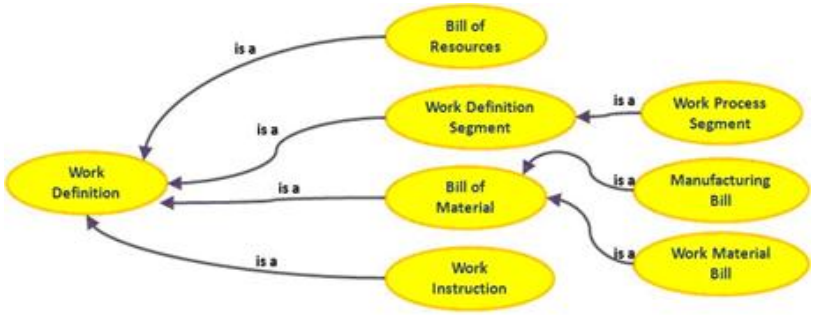


Figure 6.18. Définition du Travail

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

Dans notre étude de cas, la définition du travail détermine la charge des machines, le besoin en palettes et en pièces, le programme d'usinage et la définition de la production (Figure 6.19).


```xml
<Work_Definition>
    <Bill_Of_Resource>
        <Resource Reference="MP0002" Name="Palette en Bois 2cm*10cm" Quantity="100" />
        <Resource Reference="MP0003" Name="Triangle Rouge en Plastique" Quantity="100" />
        <Resource Reference="MP0004" Name="Rectangle Jaune en Plastique" Quantity="100" />
        <Resource Reference="MP0005" Name="Cercle Bleu en Plastique" Quantity="100" />
    </Bill_Of_Resource>
    <Bill_Of_Material>
        <Manufacturing_Bill>
            <Material Reference="MAC003" Name="Machine_Assemblage" />
            <Material Reference="CONT001" Name="Controleur_Qualite" />
            <Material Reference="MAC005" Name="Machine_Emballage" />
        </Manufacturing_Bill>
        <Work_Material_Bill>
            <Manufacturing_Order>
                <Reference>MO_00001</Reference>
                <Name>Quality_Management</Name>
                <Reference>MO_00002</Reference>
                <Name>Assembly</Name>
                <Reference>MO_00003</Reference>
                <Name>Quality_Management</Name>
                <Reference>MO_00004</Reference>
                <Name>Packaging</Name>
            </Manufacturing_Order>
        </Work_Material_Bill>
    </Bill_Of_Material>
    <Work_Instruction>
        <Resource Reference="MP0002, MP0003, MP0004, MP0005" State="Available">
        <Material Reference="MAC003, CONT001, MAC005" State="Free">
        <Delivery_Order Date="29/08/2012"/>
    </Work_Instruction>
</Work_Definition>
```


Figure 6.19. Extrait XML de la Définition du Travail

La définition du travail est assurée par le module du routage intelligent. Celui-ci gère l'interface entre la gestion de la production et la gestion de l'atelier et définit les ressources dont la capacité correspond aux exigences du segment de travail (ressources pouvant accomplir le processus de production) (Figure 6.20).

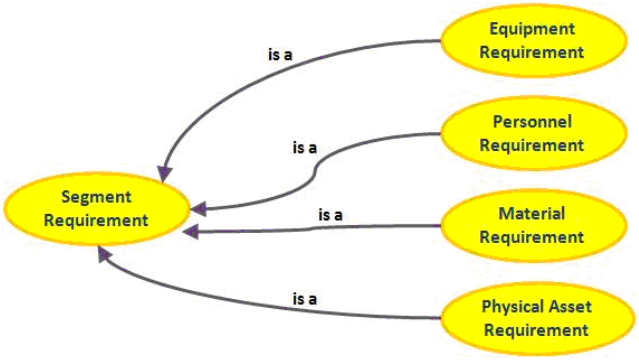


Figure 6.20. Description des Besoins

Ainsi, la chorégraphie dynamique lance le service industriel à la fin de l'instanciation de celui-ci. Dans notre exemple de production de jouets pour enfant, les propriétés fonctionnelles (quantités de jouets à fabriquer, de palettes et de pièces à commander, temps total de la production selon les besoins clients, disponibilité et paramétrage des ressources…) et les propriétés non fonctionnelles (qualité du produit et des encours, état et temps d'exécution des machines…) permettent de travailler sur le lancement des tâches d'assemblage, de gestion de la qualité et d'emballage des produits.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

La chorégraphie dynamique définit un ordonnanceur dynamique permettant de sélectionner « le meilleur service » à exécuter. Elle assure l'orchestration des services sélectionnés et gère les ressources de l'atelier (Figure 6.21 décrivant les ressources en utilisant l'ontologie ISA S-95).

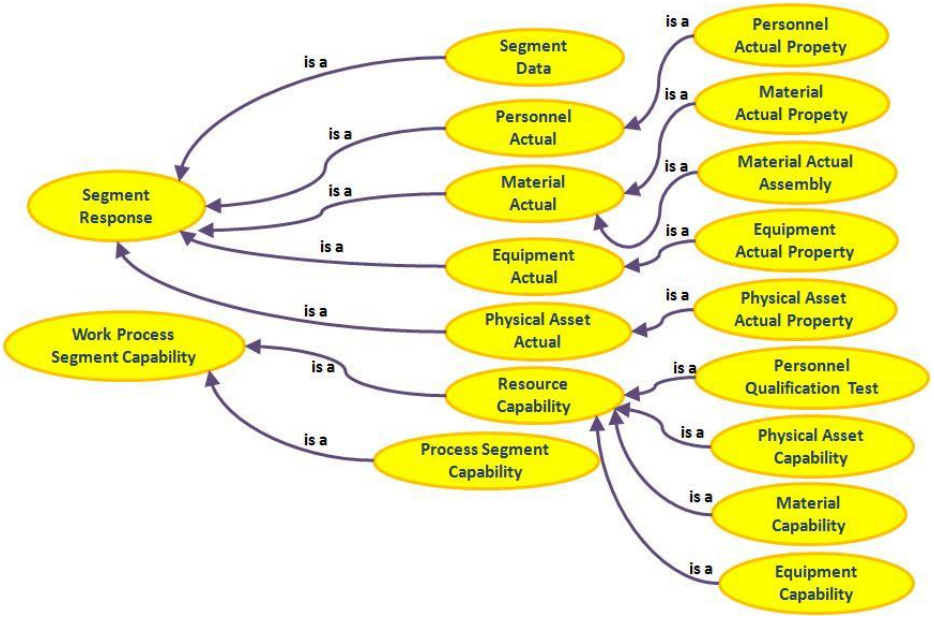


Figure 6.21. Définition des Ressources Basée sur l'Ontologie ISA S-95

Dans notre étude de cas, ce modèle représente l'ordonnancement des ressources (machines, palettes et pièces) et le paramétrage des étiquettes magnétiques associées aux palettes… Le « Segment Response » regroupe les informations liées aux données de production et à la capacité réelle des ressources personnelles et matérielles et au segment du produit (lié à la fabrication d'un ou de plusieurs produits). Nous avons défini un déclencheur associé à la production au plus juste (le cycle de fabrication) pour définir le module de chorégraphie dynamique. A la sélection d'un service à lancer, la chorégraphie dynamique envoie les messages correspondants aux différents logiciels de supervision utilisés dans l'atelier (le MES dans notre étude de cas). Enfin, le module de chorégraphie dynamique lance le processus de monitoring quand un service est déclenché.

Dans notre étude de cas, un service déclenche le chargement d'une palette vide dans la machine 1, le processus de supervision vérifie si la palette vide est disponible dans la machine 1. Le module de monitoring et gouvernance gère la qualité des services et contrôle les processus de production.

Dans l'exemple cité précédemment, il vérifie si le service (chargement de la palette) a bien été déclenché et si le temps de réponse est correct et contrôle l'exécution de la machine 1 (si elle a bien suivi le programme de production qui lui est attribué). Le module de monitoring et gouvernance tient compte des signaux et événements liés à l'exécution des processus physiques et à l'organisation des ressources. Les signaux et événements techniques sont liés aux machines, équipements et activités de l'atelier. Enfin, il gère les événements métier (suivi des activités métier et des processus de haut niveau).

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

6.3.2.2 Ontologie d'Entreprise « EO »

L' « Enterprise Ontology » a été conçue et développée par (Uschold, Moralee, King, & Zorgios, 1996).

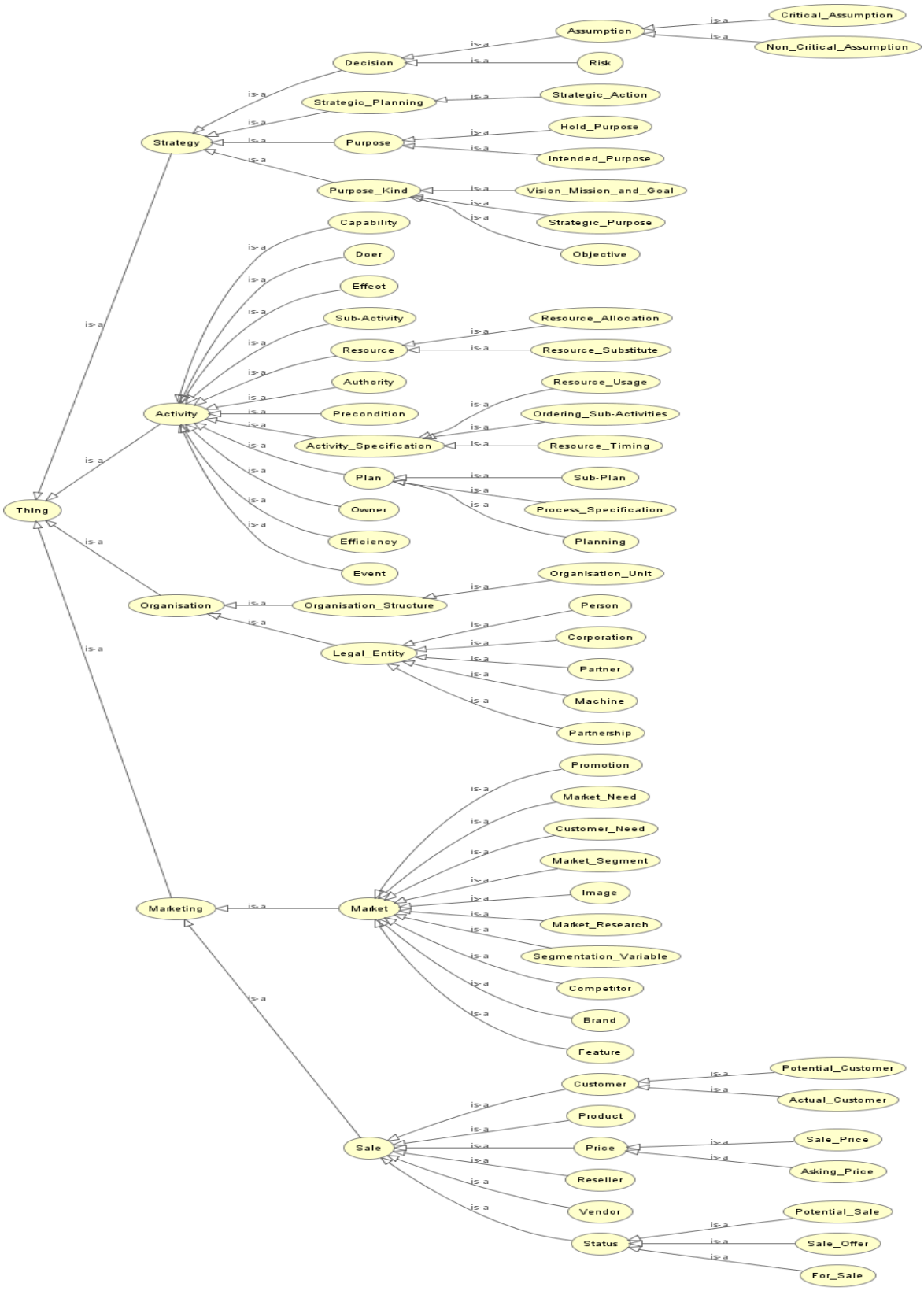


Figure 6.22. Visualisation des Concepts de l'Ontologie EO

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

C'est une ontologie très riche qui regroupe une large variété de termes liés à la description de l'entreprise. Elle facilite l'échange d'informations et de connaissances entre les différents utilisateurs, tâches et systèmes (Uschold, Moralee, King, & Zorgios, 1996) et permet de donner une vue d'ensemble de l'organisation. Cette ontologie (Figure 6.22) définit un ensemble de concepts qui décrivent le fonctionnement d'une l'entreprise.

L'ontologie EO représente un support d'intégration apportant flexibilité et communication fluide entre les différentes vues de l'entreprise. Elle est un médiateur de communication entre les différentes personnes (utilisateurs et développeurs), entre entreprises et entre les divers systèmes informatiques. Elle gère l'acquisition et la représentation des connaissances de l'entreprise à travers le noyau des concepts et langages dont elle dispose. Elle structure et organise les bibliothèques de connaissances (Uschold, Moralee, King, & Zorgios, 1996).

EO regroupe quatre principaux concepts à savoir l'Activité, l'Organisation, la Stratégie et le Marketing. Ces concepts sont définis comme suit :

- L'activité représente toute tâche qui est effectuée dans un intervalle de temps. Elle est associée à une précondition, un effet, un acteur. Elle peut être composée de sous-activités et entraine une consommation de ressources. Pour exécuter l'activité, l'acteur doit avoir besoin les droits associés.
- L'organisation regroupe les unités et leur structure organisationnelle. Les unités organisationnelles sont composées d'entités et de machines. Les entités représentent les personnes, la société, les partenariats et les partenaires. Un ensemble de personnes, de partenariats ou de partenaires sont des entités légales. Les machines sont définies comme des entités qui ont une capacité et qui accomplissent des fonctions et/ou des rôles différents.
- La stratégie est un concept de l'ontologie EO qui regroupe les objectifs globaux de l'entreprise ceci inclut les notions relatives à la décision, aux prévisions, aux hypothèses, aux risques et autres facteurs de décision.
- Enfin, le marketing intègre le domaine des ventes et définit les notions associées aux parts de marchés de l'entreprise. Il regroupe des concepts relatifs à la marque, à l'image de marque, aux promotions… Le Marketing regroupe les concepts liés aux ventes et au marché. Les ventes sont représentées par les ventes potentielles, les rôles dans une vente (tels que vendeur, revendeur, client actuel, client potentiel, ou les propriétés des produit, prix minimum, prix de vente...). Le marché tient compte des variables de segmentation (les segments de marché, la recherche du marché), la marque, l'image de marque, les spécifications du produit, les besoins, les besoins du marché, les promotions et les concurrents. Dans notre exemple (Figure 6.23), commander des quantités supérieures à 100 jouets peut donner lieu à des offres promotionnelles à des revendeurs telles que 5% de réduction pour une quantité comprise entre 100 et 300 produits, 10% pour des quantités entre 301 et 500 produits…

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

```
<Price_List>
        <Reference="PL0002" Name="Promotion_Distributeur">
        <Product>
                <Product Reference="P00001" Name="Jouet Nouveau Ne 6mois" Price="5" Price_Unit="Euro" />
                <Promotion Discount ="0,05" Quantity="100-300" />
                <Promotion Discount ="0,1" Quantity="3001-500" />
        </Product>
</Price_List>
```

Figure 6.23. Description XML de Promotions pour les Distributeurs de Jouets

6.3.3 Gestion des Annotations Sémantiques

Dans un souci de définition d'un SI Lean, interopérable et ouvert, nous avons proposé de définir une ontologie pivot permettant ainsi d'aligner le SI sur le métier de l'entreprise et de définir une médiation inter-métier dans un contexte de collaboration inter-entreprises.

Dans un bus de services traditionnels, les technologies utilisées pour les services sont le standard SOAP pour le transport des messages, WSDL pour la description du service et UDDI pour la publication et la découverte des services. Le standard WSDL ne supporte pas la description sémantique d'un service ceci explique que de nombreux travaux ont été menés pour enrichir ce standard comme OWL-S[15] de (W3C, 2004) et SAWSDL (Farrell & Lausen, 2007).

OWL-S propose une ontologie de services qui intègre trois descriptions complémentaires (Martin, Paolucci, & Wagner, 2007), à savoir :

- Ce que fait le service : cette information est donnée dans le profil du service. C'est une brève description de ce que le service offre et requiert. Elle inclut la description du responsable du service.
- Comment utiliser le service : cette information est fournie dans le modèle de service. Trois types de processus existent : les processus atomiques, simples et composites.
- Comment accéder au service : cette information est fournie par le Service « Grounding » qui indique comment accéder concrètement au service et fournit les détails concernant les protocoles, les formats de messages et les adresses physiques.

SAWSDL est un langage sémantique de description de service Web. Les annotations sémantiques de SAWSDL sont liées à un attribut appelé « model Reference » qui peut être utilisé pour décrire les éléments des schémas XML ou WSDL d'un service. SAWSDL augmente l'expressivité du langage WSDL et fournit une annotation sémantique des types de données, des opérations, des entrées/sorties de WSDL. Les annotations sémantiques de SAWSDL ne tiennent pas compte des concepts techniques des services tels que les pré-conditions, effet, opération…

YASA4WSDL (Chabeb& Tata, 2008) permet d'intégrer des annotations sémantiques faisant référence à la fois à une ontologie décrivant la sémantique des services et à une ontologie métier (Figure 6.24). L'intégration des références aux ontologies dans les annotations sémantiques augmente la capacité de description en évitant les risques d'ambiguïté et les problèmes de

[15] http://www.ai.sri.com/daml/services/owl-s/

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

matching (Chabeb & Tata, 2008). La première ontologie, appelé Ontologie Technique (Technical Ontology), fait référence à plusieurs concepts définissant la sémantique des concepts du service et les concepts décrivant ses propriétés non fonctionnelles (qualité de service, contexte…). La seconde ontologie, appelée Ontologie de Domaine (Domain Ontology), définit la sémantique des concepts du domaine des services. Cette deuxième ontologie fait référence aux concepts métier.

Nous avons choisi d'intégrer le standard YASA4WSDL pour la description du registre sémantique des services industriels pour la richesse des attributs de l'ontologie liée aux concepts du service et pour sa capacité d'intégrer une deuxième ontologie métier (ou ontologie du domaine). Nous avons retenu les deux ontologies ISA S-95 et EO pour définir l'ontologie du domaine.

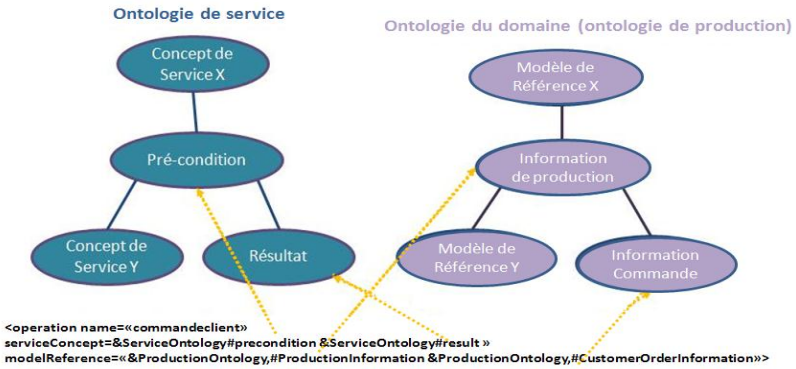


Figure 6.24. Ontologie de Service et Ontologie du Domaine (Chabeb & Tata, 2008, pp 439)

Les modèles de référence sont représentés par le plan stratégique et les entités organisationnelles (pour l'ontologie EO) et par la définition de la production et la capacité de production (pour l'ontologie ISA S-95). Nous recourons au « matching » des ontologies métier pour fournir une définition complète des concepts d'une ontologie de domaine globale. En effet, la définition de la production à partir des besoins du client intègre à la fois des éléments stratégiques et d'organisation et des éléments plus « technologiques » liés au produit et au procédé. L'exemple de notre étude de cas, illustré dans la Figure 6.25 montre les annotations intégrant les concepts de l'ontologie technique et de l'ontologie du domaine.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

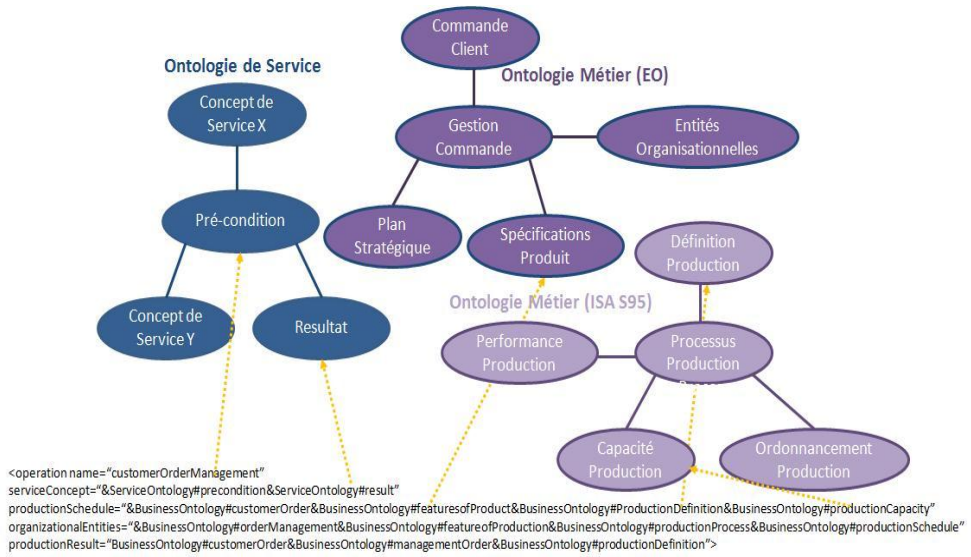


Figure 6.25. Ontologie de Service et Ontologies Métier pour la Gestion d'une Commande Client

Dans notre étude de cas, l'annotation sémantique d'un service de production (Production Service) (Figure 6.26) regroupe une description de l'interface du service (ProductionManagementInterface) et de ses opérations. Chaque opération regroupe des pré-conditions et des résultats (ServiceConcept) et des éléments d'entrée et de sortie (ModelReference).

```
<description>
    <interface name="ProductionManagementInterface"
        ServiceConcept="&ServiceOntology;#interface"      modelReference="&BusinessOntology;#productionDefinition">
            <operation name ="customerOrderMangement"
                ServiceConcept= "&ServiceOntology;#precondition &ServiceOntology;#result"
                modelReference="&BusinessOntology;#customerOrder &BusinessOntology;#strategicPlanning &BusinessOntology;#productionDefinition">
                        <input element="customerOrderRequest"/>
                        <output element="customerOrderResponse"/>
            </operation>
            <operation name="productionPlanning"
                ServiceConcept="&ServiceOntology;#precondition &ServiceOntology;#result"
                modelReference="&BusinessOntlogy;#featureOfProduct &BusinessOntology;#productionCapacity">
                        <input element="productionPlanningRequest"/>
                        <output element="productionPlanningResponse"/>
            </operation>
            <operation name="productionSchedule"
                ServiceConcept="&ServiceOntology;#precondition &ServiceOntology;#result"
                modelReference="&BusinessOntlogy;#organizationalEntities &BusinessOntology;#productionDefinition &BusinessOntology;#productionCapacity">
                        <input element="productionScheduleRequest"/>
                        <output element="productionScheduleResponse"/>
                </operation>
    </interface>
    <binding name="productionSOAPBingding" interface="ProductionManagement">
    <service name="productionService" interface="ProductionManagementInterface">
        <endpoint name="productionEndpoint" binding="productionSOAPBingding"/>
    </service>
</description>
```

Figure 6.26. Exemple d'Annotation Sémantique

Dans l'opération gestion de commande client (CustomerOrderManagement), le modèle de référence regroupe les concepts commande client, plan stratégique (EO) et définition de production (ISA S-95). Pour faciliter les opérations de médiation, nous construisons différents méta-modèles à partir de l'ontologie pivot en sélectionnant et organisant les concepts pertinents.

Dans notre étude de cas (présentée à la section 6.2.3), le module de médiation regroupe les concepts de l'ontologie métier permettant de répondre à la demande de fabrication. Il fournit des descriptions syntaxiques et sémantiques aux autres modules de Lean ESB et permet de faire communiquer les systèmes installés dans la machine 7.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

Le module de médiation fournit des annotations sémantiques grâce à notre ontologie pivot qui permet de faire communiquer différents ERP (de plusieurs partenaires) et l'ERP et le MES installés dans notre système. D'une part, la médiation sémantique extrait les informations en XML de chaque ERP et les « parse » pour ajouter des éléments de l'ontologie pivot afin de regrouper toutes les données de production. D'autre part, elle précise les traitements modélisés avec les services définis par le module de chorégraphie dynamique et les flux des données gérés par le module du routage intelligent. Le module de médiation sémantique gère les flux de données utilisés par les différents systèmes, comme le montre la Figure 6.27. Dans notre exemple de fabrication de jouets pour enfant, l'entreprise commande auprès de ses fournisseurs des palettes vides et fait appel à de la sous-traitance pour la fabrication des pièces multicolores. Le module de médiation permet de faire communiquer les ERP des différents participants dans la chaine de production.

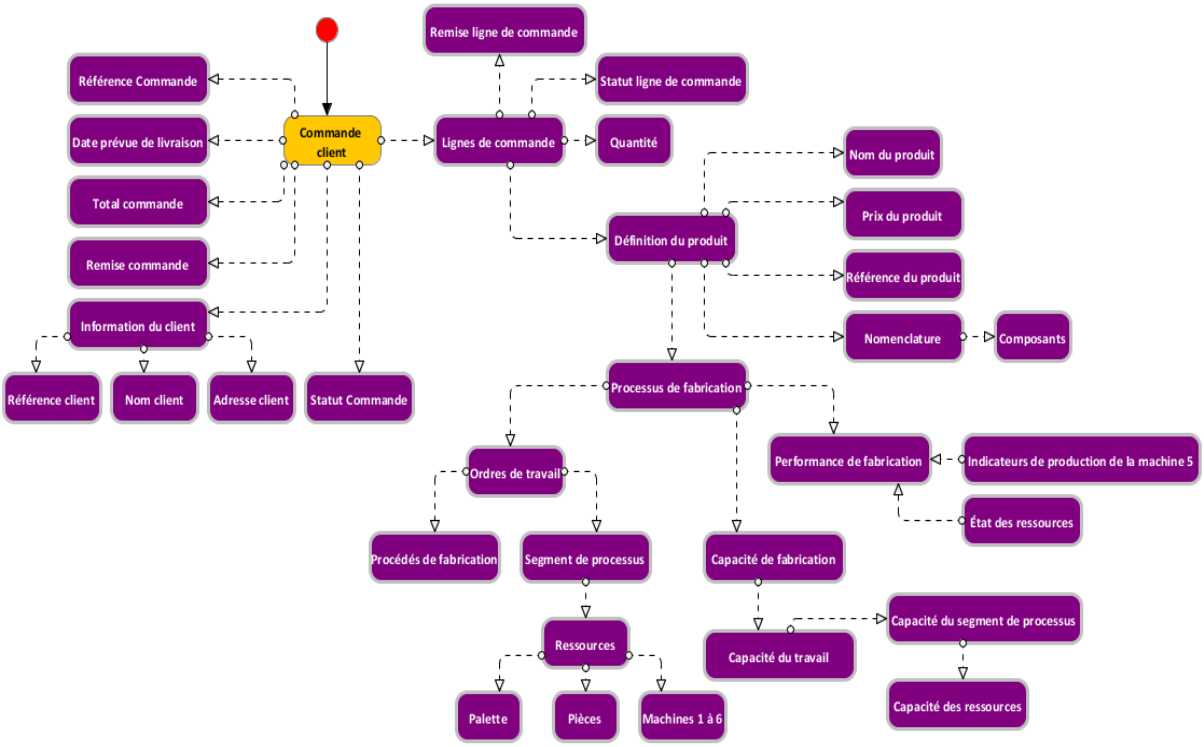


Figure 6.27. Flux des Données Gérés par le Module de Médiation Sémantique

Il possède une vision globale de l'ontologie pivot lui permettant de faire interopérer les ERP et de réaliser les interprétations sémantiques inter-métier des échanges entre les ERP et le parsing des descriptions XML pour mettre à jour les bases de données des différents ERP (Algorithme illustré dans la Figure 6.28).

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

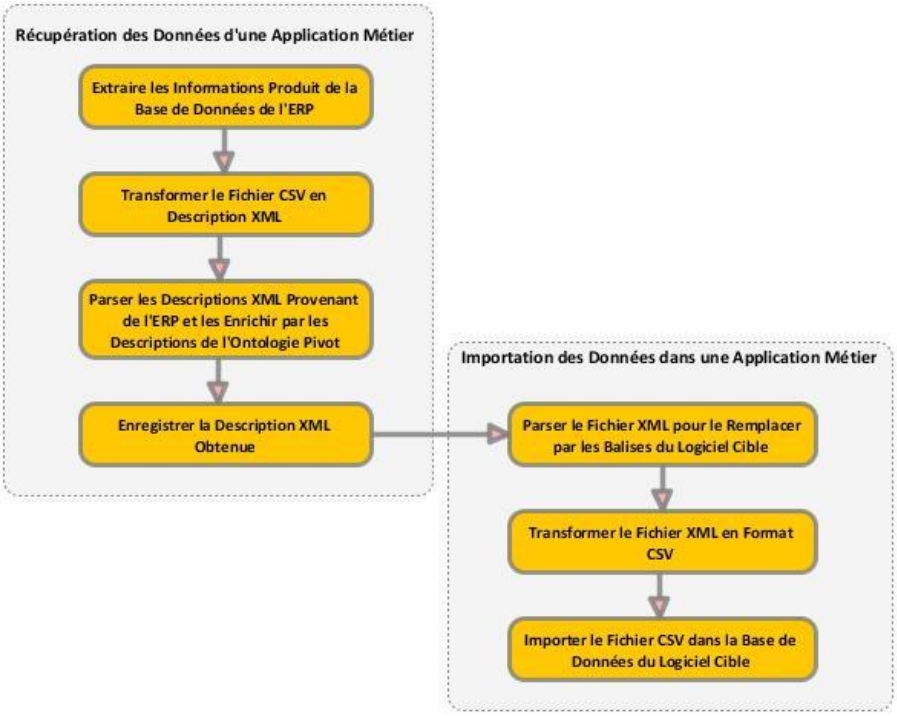


Figure 6.28. Processus de Médiation Sémantique Inter-Métier

Le module de médiation sémantique gère les flux de données suivants qui sont liés à la commande client et échangés entre les différents ERP comme suit :

- Référence commande
- Date prévue de la livraison
- Montant total commande
- Remise commande
- Informations clients (Référence, nom, adresse de livraison et adresse de facturation)
- Statut de la commande (devis, confirmée, en cours de traitement, livrée, facturée, clôturée…)
- Lignes de commandes.

Les flux de données liés aux lignes de commandes sont échangées entre les ERP et l'ERP et le MES et regroupent les données suivantes :

- Statut de la ligne (brouillon, confirmée, en cours, livrée, terminée)
- Quantité du produit
- Remise attribuée à la ligne de commande
- Définition du produit : Référence, nom et prix.

Les flux de données liés à la définition du produit déterminent les traitements associés à l'approvisionnement et la fabrication du produit et représentent des échanges de données entre

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

le routage intelligent et la chorégraphie dynamique. Ces flux de données se présentent comme suit :

- Nomenclature du produit
- Processus de fabrication
- Ordres de travail (procédés de fabrication, segment de processus, ressources nécessaires à la fabrication à savoir les palettes, les pièces et les machines)
- Capacité de fabrication (capacité du travail, capacité du segment de processus et capacité des ressources)

Enfin, la performance de la fabrication regroupe des flux de données échangés entre le module de monitoring et gouvernance et les systèmes SCADA et MES. Les flux de données liés à la performance de la fabrication regroupent des données sur l'état des ressources et du produit fini et les indicateurs clés de performance associés à la fabrication. Ces indicateurs proviennent des capteurs de la machine 5 et du SCADA et sont envoyés au MES.

Dans la Figure 6.29, nous supposons que la désignation du produit est « Palette Colorée » et porte la référence « P00234 », la commande client a la référence « OR00012» et a le statut «en cours» et que la date de livraison est prévue pour le 15 novembre 2011.


```
<description>
    <interface name="customerOrder"
        ServiceConcept="&ServiceOntology;interface"    modelReference="&BusinessOntology;#productionPlan">
            <operation name="customerOrderManagement"
                ServiceConcept="&ServiceOntology;#precondition &ServiceOntology;#result"
                modelReference="&BusinessOntology;#customerOrder &BusinessOntology;#producDefinition"
                    <input element="cutomerOrderRequest">
                        <customerReference>C00839</customer_Reference>
                        <customerName>Dupond</customer_Name>
                        <expeditionAdress>6 rue du chateau. 69100 Villeurbanne</expeditionAdress>
                        <facturationAdress>6 rue du chateau. 69100 Villeurbanne</facturationAdress>
                        <orderReferencer>OR00012</orderReference>
                        <status>In_Progress</status>
                        <deliveryDate>15/11/2011</deliveryDate>
                        <productDefinition>
                            <productReference>P00234</productReference>
                            <productName>Colorful_Palette</productName>
                            <productQuantity>15</productQuantity>
                            <productPrice>8,00</productPrice>>
                        </productDefinition>
                        <discout>20%</discout>
                        <total>96,00</total>
                    </input>
                    <output element="cutomerOrderResponse">
                        <orderReferencer>OR00012</orderReference>
                        <status>In_Progress</status>
                    </output>
            </operation>
        </interface>
</description>
```


Figure 6.29. Service de Médiation Sémantique entre les ERPs des Partenaires

Comme le montre la Figure 6.30, ce service de médiation pour l'annotation sémantique est lié au segment de produit et à la définition du produit. Dans cet exemple, nous considérons que :

- La matière première nécessaire regroupe les éléments suivants : pièces losanges ayant la couleur rouge (DPR), la couleur bleue (DPB) et la couleur jaune (DPW)
- Les équipements requis sont : les machines 1, 2, 4 et 5
- les ordres d'approvisionnement : PO00034, PO00035 et PO00036 correspondent aux commandes fournisseurs des pièces losanges rouges, bleues et jaunes.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

- Les ordres de fabrication définis par le plan de production : MO00025, MO00026 et MO00027.
- Le produit « Palette Colorée » est fabriqué à la demande.

```
<interface name="ProductionData"
        ServiceConcept="&ServiceOntology;interface"     modelReference="&BusinessOntology;#productionPlan">
        <operation name="productionDataManagement"
                ServiceConcept="&ServiceOntology;#precondition &ServiceOntology;#result"
                modelReference="&BusinessOntology;#customerOrder &BusinessOntology;#producDefinition"
                <input element="cutomerOrderRequest">
                        <productionDefinition>
                                <productDefinition>
                                        <processSegment>
                                                <productReference>P00234</productReference>
                                                <productName>Colorful_Palette</productName>
                                                <productQuantity>15</productQuantity>
                                                <rawMaterial>DPR, DPB, DPY</rawMaterial>
                                                <equipment>machine1, machine4, machine2, machine5</equipment>
                                        </processSegment>
                                        <workDefinition>
                                                <rawMaterial>PO00034, PO00035, PO00036</rawMaterial>
                                                <workInstruction>MO00025, MO00026,MO00027</workInstruction>
                                        </workDefinition>
                                        <productRule>
                                                <productType>produced </productType>
                                                <procurementType>made_to_order</procurementType>
                                        </productRule>
                                </productDefinition>
                        </productionDefinition>
                </input>
        </operation>
</interface>
```

Figure 6.30. Service de Médiation Sémantique entre ERPs et MES

6.3.4 Construction des Méta-Modèles

Les méta-modèles décrits dans cette section permettent au module de médiation inter-métier de gérer la transformation syntaxique et sémantique des flux de données. Ils représentent les référentiels de notre architecture du Mashup (Figure 6.4) grâce auxquels la modélisation des données, à savoir la gestion des flux et la gestion des contenus, est possible.

6.3.4.1 Interfaçage avec les Système PLM et Définition du Produit

Une démarche PLM permet de capitaliser toutes les informations concernant un produit industriel (Figure 6.31) ce qui permet de faciliter les phases de conception, développement, exploitation et fin de vie du produit. La capitalisation de toutes les données (fréquence de sortie des nouveaux produits, coûts, la gestion des ressources associées à la fabrication, la traçabilité des flux d'information, la description de procédés, l'organisation collaborative...) favorise la réutilisabilité et rend la conception plus efficace.

Lorsque le système PLM peut être couplé à l'ERP ou au CRM, c'est toute la chaîne de valeur du produit qui peut être améliorée. Par exemple, la « connexion » du CRM au fond documentaire produit peut améliorer la traçabilité. De même, la connaissance des alternatives « fournisseurs » de l'ERP peut faciliter les choix de conception.

Le méta modèle permettant la médiation vers les systèmes PLM est construit à partir du standard ISA S-95 qui définit un modèle de données le « segment de produit ». Il s'agit d'un groupe d'information sur les règles de production et les ressources pour la fabrication d'un produit. Le segment de processus décrit les tâches de production. Il contrôle les ressources (équipements, machines et main d'œuvre), le coût et la qualité imposée du processus de production.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

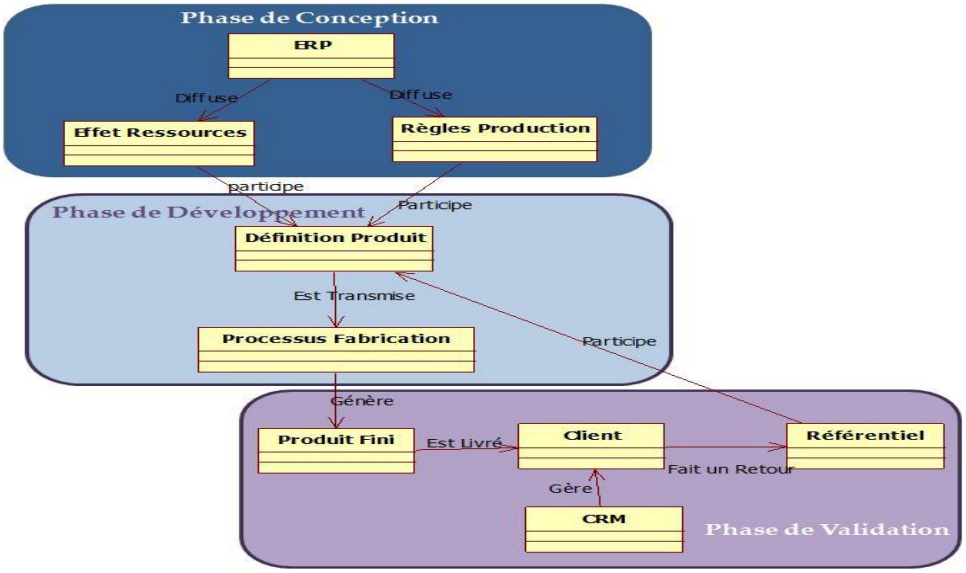


Figure 6.31. Cycles de Vie d'un Produit

Le méta modèle du produit (Figure 6.32) permet d'établir une cohérence entre les phases de conception, développement et validation du produit. Ce méta modèle permet de structurer la définition des propriétés fonctionnelles et non fonctionnelles relatives au produit et à sa production.

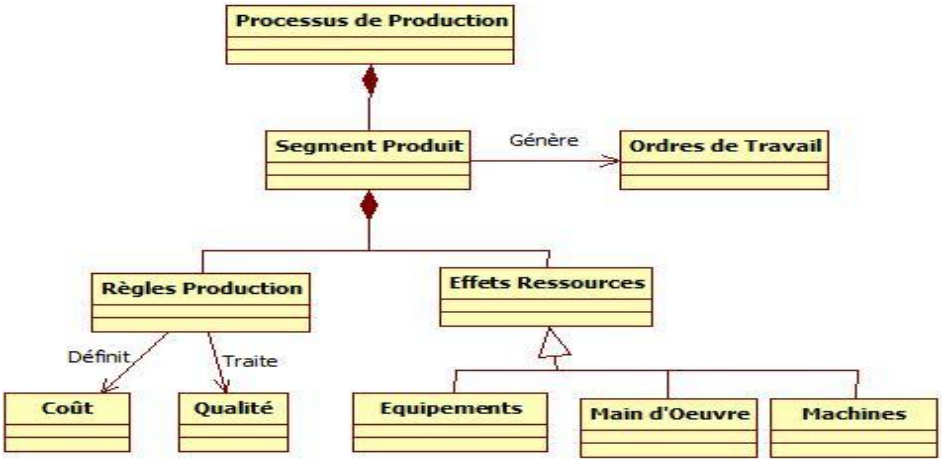


Figure 6.32. Méta Modèle Produit

Le service industriel est donc enrichi par les règles de production et la gestion de la qualité des processus.

6.3.4.2 Définition de la Production

Le méta modèle définissant la production (Figure 6.33) regroupe des informations sur la définition du produit, les processus de fabrication et les ressources impliquées ainsi que les contraintes propres à l'atelier (compétences, états et capacités des ressources). Les propriétés fonctionnelles et non fonctionnelles du service industriel relatives à la production permettent à la fois de gérer l'ordonnancement et les approvisionnements mais aussi de contrôler l'exécution des processus de fabrication. Ceci permet également de gérer et conserver un historique sur les étapes de fabrication et des informations sur les ressources consommées...

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

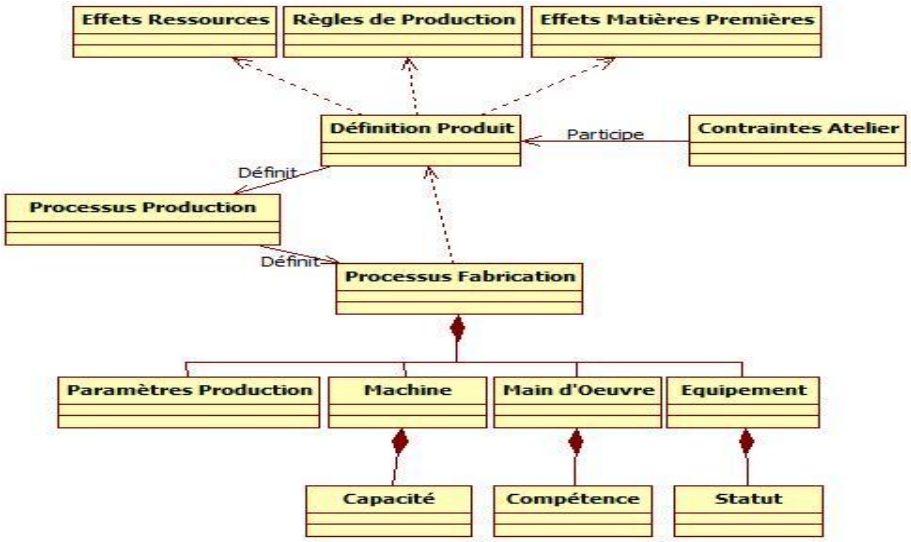


Figure 6.33. Méta Modèle Définition de la Production

6.3.4.3 Capacité de la Production

Ce méta modèle de production est complété par le méta modèle décrivant les capacités de production (Figure 6.34). La capacité de la production permet de définir les propriétés non fonctionnelles du service industriel liées aux règles d'ordonnancement et d'approvisionnement et aux opérations des processus de production.

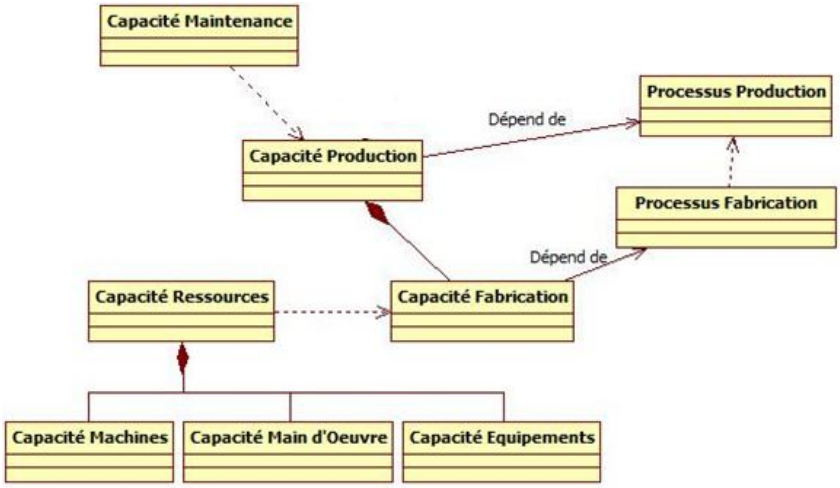


Figure 6.34. Méta Modèle de la Capacité de la Production

Cette facette intègre des propriétés non fonctionnelles utilisables pour les opérations de planification, d'ordonnancement et de supervision de la production. Il intègre à la fois des informations sur la capacité des ressources et des informations relatives aux spécifications de maintenance. A partir des résultats (ou performances) de la production, il serait possible définir la traçabilité de la production, concernant les ressources impliquées, les processus de production et de fabrication exécutées, les contraintes de l'atelier… Le modèle de performance permet de définir les indicateurs de qualité liée à la production. Il est fortement lié au modèle de capacité de la production (Figure 6.35) et permet de déterminer d'une manière optimale les opérations et le

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

programme de production adéquat grâce au modèle de traçabilité. Il devient plus facile de détecter les anomalies de production à temps.

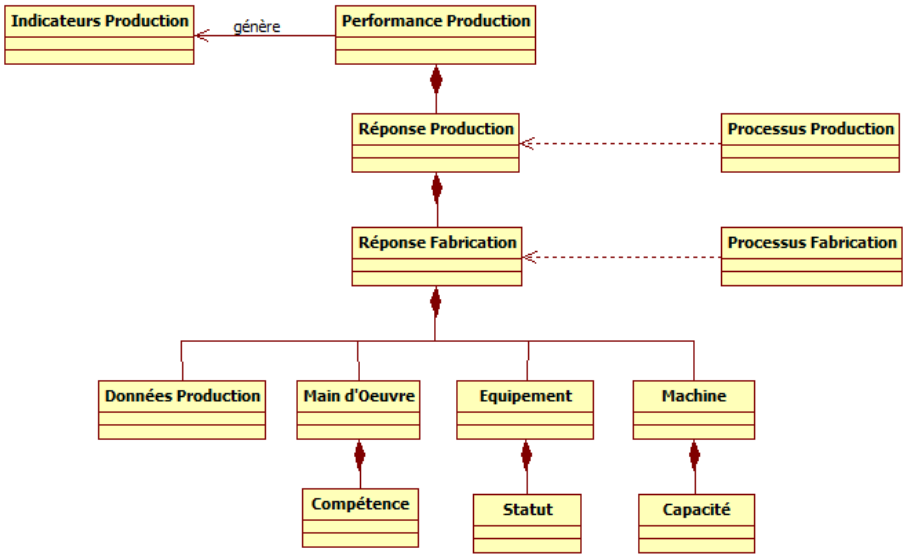


Figure 6.35. Méta Modèle de la Performance de la Production

6.4 Routage Intelligent

Le module de routage intelligent (Figure 6.36) permet de définir des processus physiques en flux tiré. Compte tenu des méta-modèles « produit », définition et capacité de la production (Figure 6.32, Figure 6.33 et Figure 6.34), il gère l'allocation des ressources et calcule leurs disponibilités en temps réel.

Comme nous l'avons vu dans la section précédente, la médiation ERP/MES et la gestion des ordres de fabrication a permis de générer une liste d'opérations à réaliser en respectant la logique de flux tiré. La mise en œuvre de ce processus métier qui a ainsi été composé est réalisée par le module de routage intelligent qui regroupe des schémas XML d'annotation des ressources, des règles de routage (qui correspondent à des paramètres de production) et des règles de priorité. Le planificateur définit les interactions entre les différentes ressources dans un processus physique en se basant sur les règles de routage. Il ordonnance les processus physiques en se basant sur les règles de priorité. Il gère les échanges de messages entre les services industriels et les ressources, structurés en XML, en s'interfaçant au besoin avec un système ordonnanceur du SI existant.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

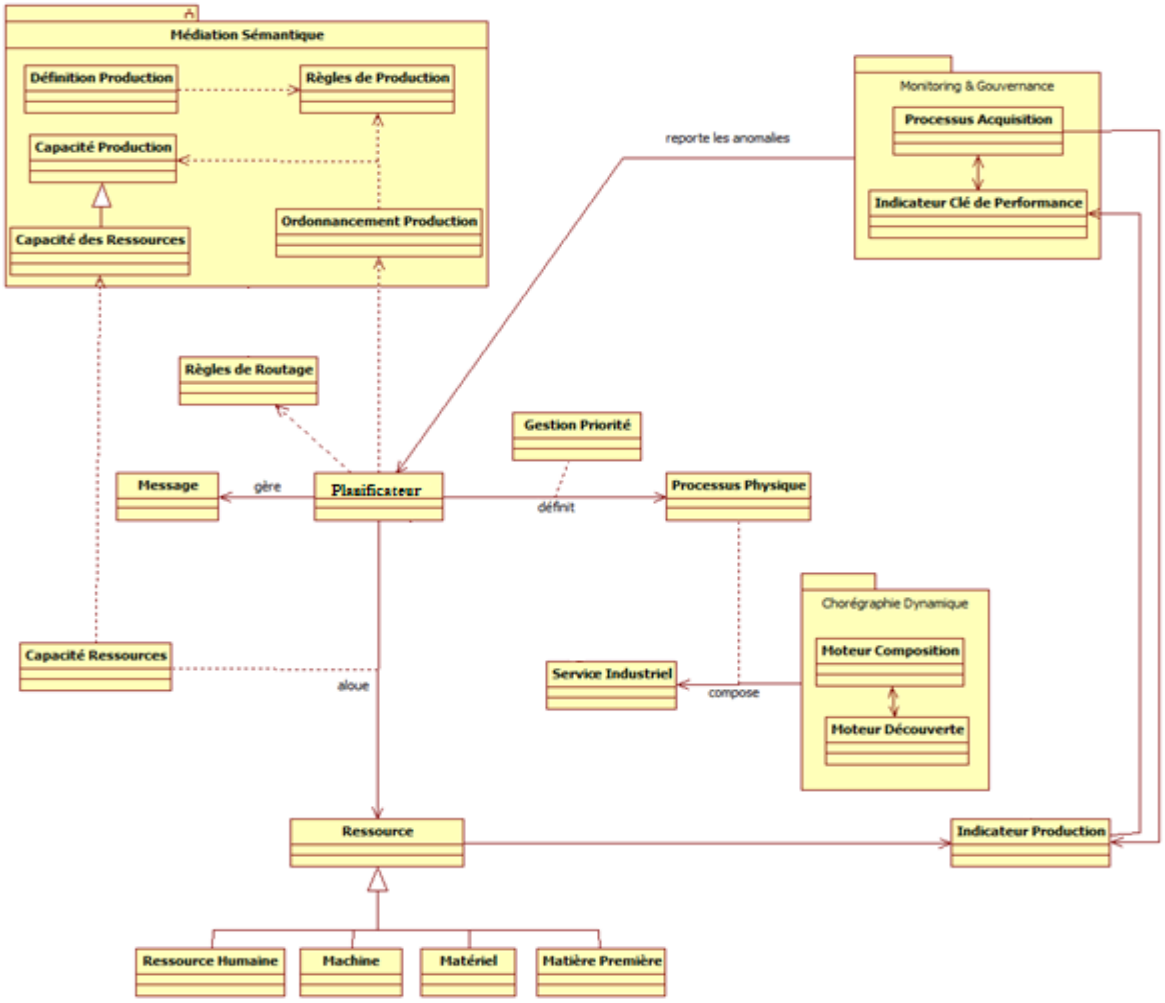


Figure 6.36. Module de Routage Intelligent

Le module de routage intelligent utilise les résultats de l'analyse sémantique provenant du module de médiation sémantique inter-métier (Figure 6.37). Il exploite les méta-modèles liées à la définition et la capacité de la production et intègre des connaissances sur le système de production pour envoyer les flux des données aux destinataires. Le routage intelligent calcule le Takt Time (Temps total de la production / Demande du client) et le compare au temps d'exécution de tous les composants du système (les machines par exemple) ce qui lui permet de suivre la productivité de tout le système pour respecter la demande client.

Le module de monitoring et gouvernance récupère les indicateurs de production, liés aux statuts des ressources qu'il compare avec les indicateurs stockés et reporte une anomalie si ces indicateurs sont différents de ceux enregistrés. Dans ce cas, le module de routage intelligent redéfinit l'allocation des ressources de telle manière que le processus ne s'arrête pas.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

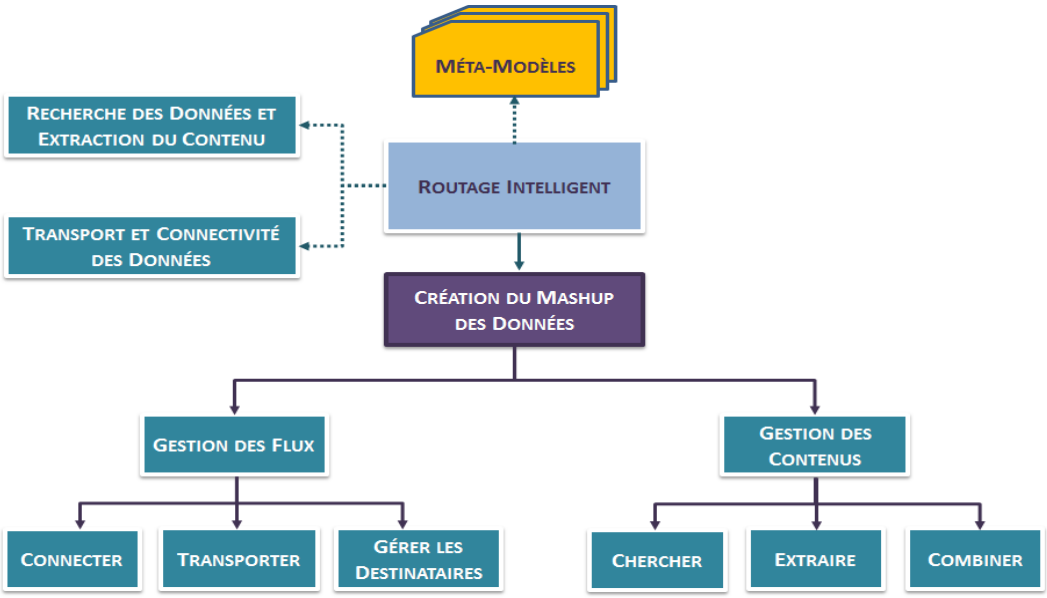


Figure 6.37. Création du Mashup des Données par le Module de Routage Intelligent

La Figure 6.38 illustre les flux de données utilisés par le routage intelligent pour le calcul du programme de production.

Dans l'étude de cas, le module de routage intelligent prend en considération le plan de production défini par l'ERP afin de définir et ajuster le programme de production en fonction des charges des machines. La définition du travail définie à partir du plan de production de l'ERP participe dans la définition des règles de routage. La gestion des règles de routage est simple et permet de remonter les données des machines au routage intelligent. Les règles de routage permettent de connecter le MES et le SCADA.

Les règles de routage énumèrent les conditions de production (dans cet exemple, il est demandé de fabriquer 15 unités de « Palettes Colorées ») comme suit :

- La matière première doit être disponible
- La machine 1 doit être disponible
- La machine 4 doit être disponible quand les palettes sont déplacées de la machine 1
- Un produit fini doit regrouper une palette et 3 pièces de couleurs et de formes différentes
- Le temps d'exécution de la machine 4 est de 15 minutes par produit…

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

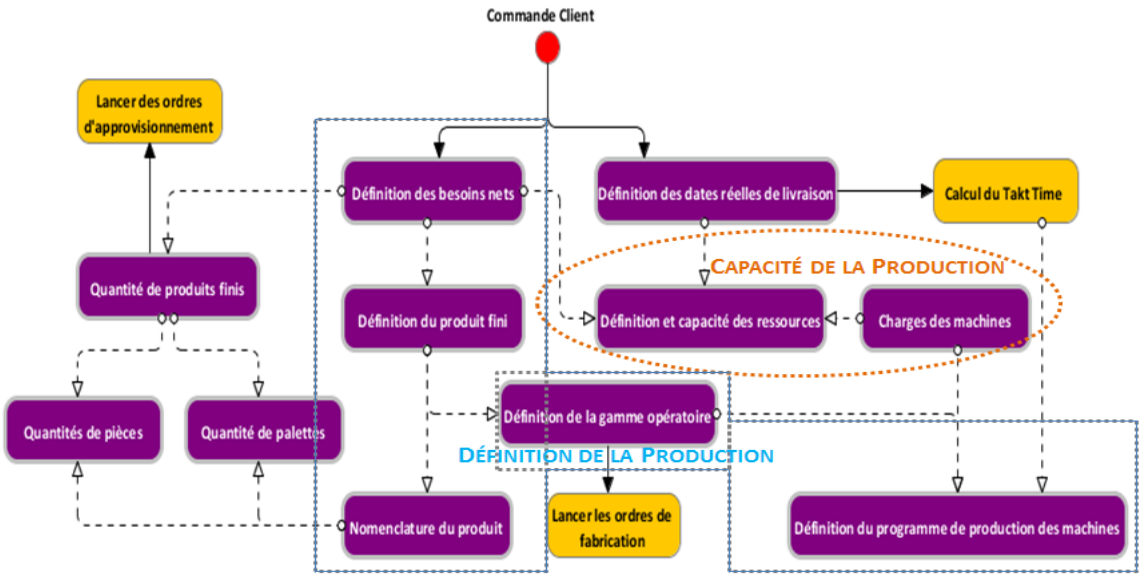


Figure 6.38. Flux des Données pour le Calcul du Programme de Production

Dans notre exemple, le routage intelligent exploite les données pour gérer une production Lean en extrayant le contenu des données nécessaires au fonctionnement de chaque composant du système.

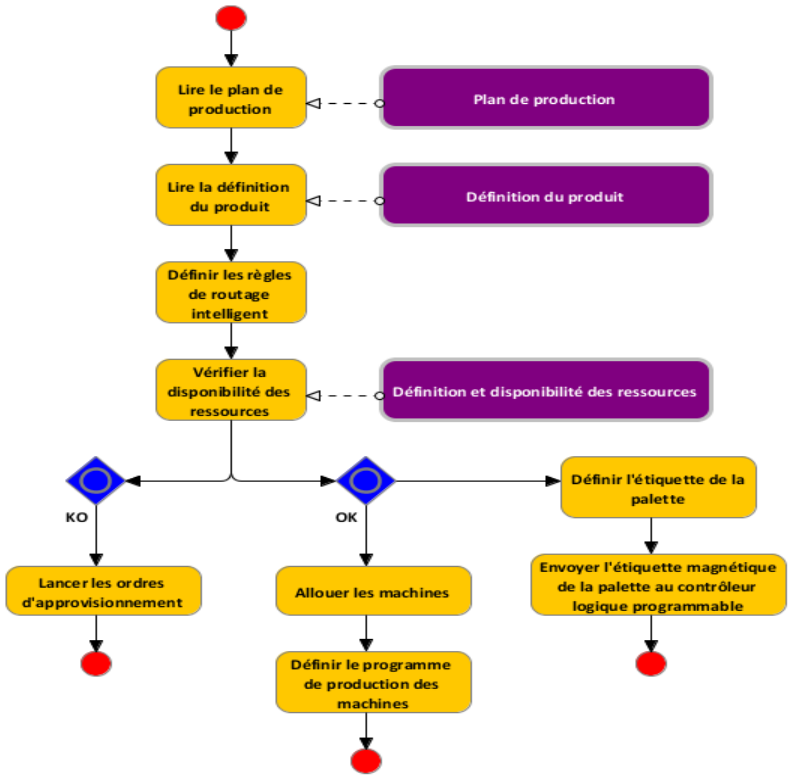


Figure 6.39. Fonctionnement du Module de Routage Intelligent

Il envoie le programme de production aux machines et les ordres de fabrication et d'approvisionnement au module de chorégraphie dynamique en se basant sur les méta-modèles de définition de la production, du travail (gamme opératoire) et du produit et de la capacité de la production.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

Comme le montre la Figure 6.39, le module de routage alloue les ressources, calcule leur disponibilité en temps réel et ordonnance les processus physiques en tenant compte des capacités de production : il planifie les interactions entre les machines et définit les paramètres de production et les priorités d'exécution des machines selon le plan de la production défini par l'ERP.

6.5 Monitoring & Gouvernance

Le module de monitoring et gouvernance analyse les flux des données qui proviennent du module de routage intelligent et les compare aux flux des services (ou flux de production et outils de production) provenant du module de chorégraphie dynamique (Figure 6.40).

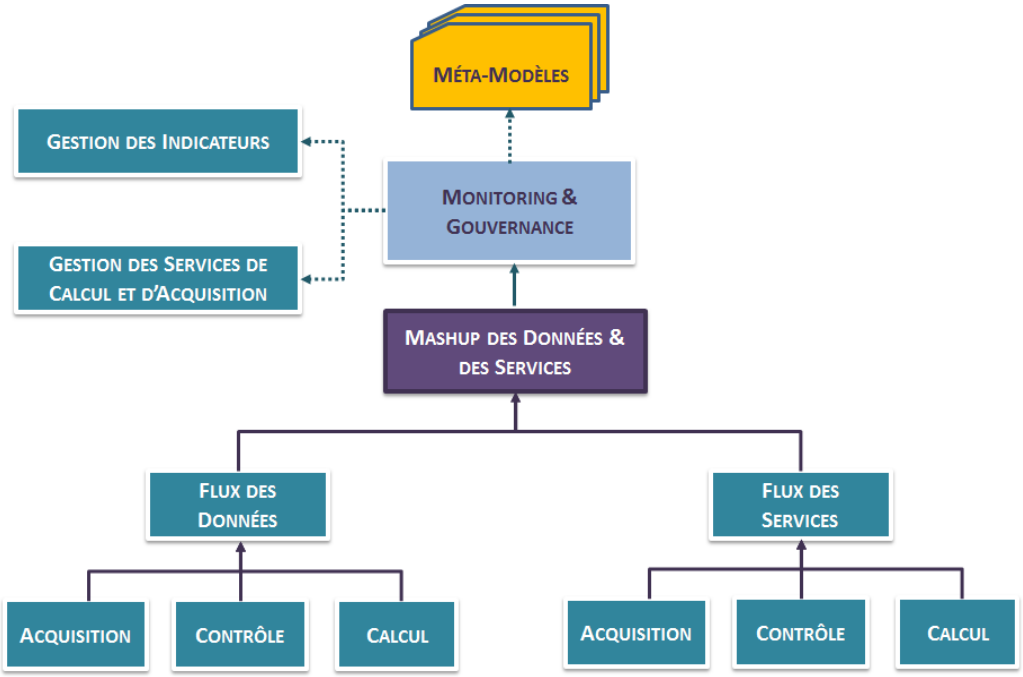


Figure 6.40. Création du Mashup des Données et des Services par le Module de Monitoring et Gouvernance

Le module de Monitoring et Gouvernance gère les indicateurs de production et de services. Les indicateurs de services sont définis dans le niveau de service « Service Level Agreement » qui regroupe des indicateurs de performance« Key Performance Indicators » (performance globale de l'activité de l'entreprise) et des indicateur de qualité de service « Key Quality Idicators » (Ali L., 2008). La qualité du service QoS représente les paramètres de qualité des fonctionnalités offertes par un service. Elle est décrite par les paramètres suivant (Forum & Group, 2004) :

- Réactivité aux besoins des clients
- Flexibilité des volumes et méthodes de production
- Respect des délais d'exécution
- Intégration du SI industriel dans le SI global de l'entreprise
- Prise en compte des contraintes de médiation et de sécurité

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

- Gestion des flux de production (tiré / poussé)
- Disponibilité du service

Les indicateurs de production sont gérés par des processus de monitoring contrôlant la qualité des produits, la performance des machines (temps de rendement synthétique, taux de qualité…), les statuts des ressources et leur temps de réponse…

Dans la Figure 6.41, les indicateurs sont liés à l'ontologie pivot qui est associée à une ontologie du domaine. L'ontologie du domaine regroupe une ontologie du service (facette technologique liée à la gestion des indicateurs de services) et une ontologie métier (facette métier liée à la gestion des indicateurs de production) et permet de définir les processus de calcul (ensemble de processus élémentaires).

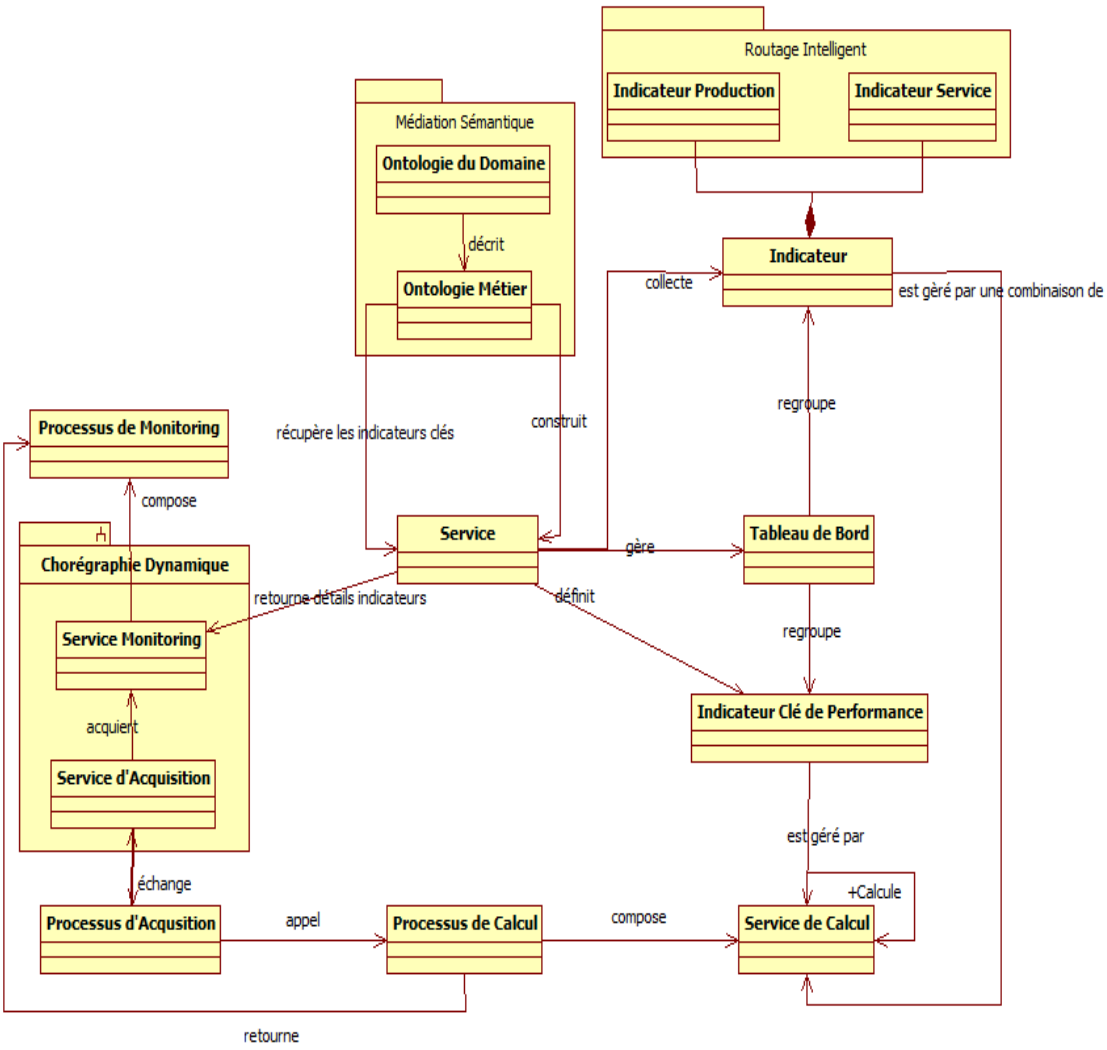


Figure 6.41. Diagramme de Composants du Monitoring & Gouvernance

Le service gère le tableau de bord pour collecter les indicateurs et les retourner au service de monitoring qui fait appel aux services d'acquisition et de calcul. Ces services d'acquisition et de calcul sont composés par le module de chorégraphie dynamique. Le module de monitoring et gouvernance regroupe trois fonctions principales : l'acquisition des entrées/sorties provenant des modules de routage intelligent et de chorégraphie dynamique, le « matching » des indicateurs de

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

performance définis par l'ontologie pivot et le « switching » entre les indicateurs de services et de production.

Dans notre étude de cas, le module de monitoring et gouvernance supervise les processus de production et contrôle la qualité du produit fini et de la matière première et l'exécution des ordres de production et d'approvisionnement en tenant compte des délais.

Grâce aux indicateurs liés à la qualité du produit et signaux relatifs à l'exécution des processus (méta-modèles de définition de la production et de la définition du produit), le système SCADA détecte et relève les anomalies qui sont récupérés par le processus d'acquisition. Dans notre étude de cas, le module de monitoring et gouvernance supervise les processus de production et contrôle la qualité du produit fini et de la matière première et l'exécution des ordres de production et d'approvisionnement en tenant compte des délais.

Grâce aux indicateurs liés à la qualité du produit et signaux relatifs à l'exécution des processus (méta-modèles de définition de la production et de la définition du produit), le système SCADA détecte et relève les anomalies qui sont récupérés par le processus d'acquisition.

Le processus d'acquisition collecte ces indicateurs et les affiche dans le tableau de bord (Figure 6.42). Il active le processus de calcul et transmet ses résultats au processus de monitoring qui va faire appel au module de chorégraphie dynamique dans le but de redéfinir la composition des processus en cas d'anomalie.

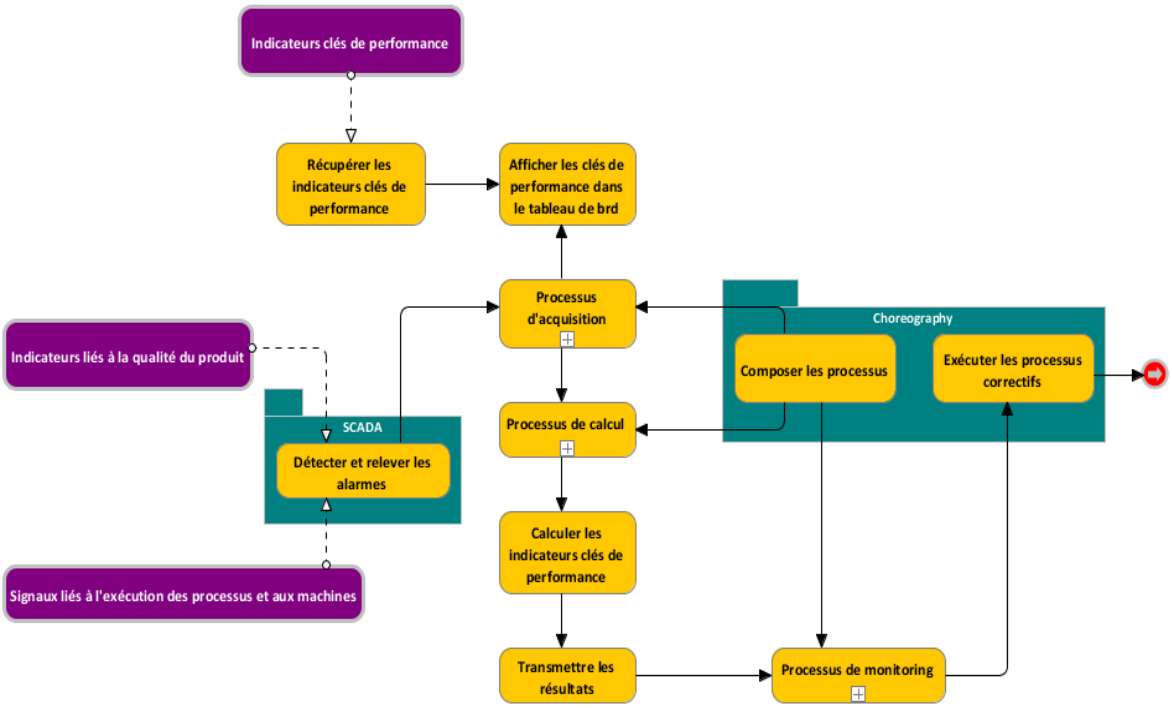


Figure 6.42. Fonctionnement du Module Monitoring et Gouvernance

6.6 Composition Métier et Chorégraphie Dynamique

Le défi des Architectures Orientées Services est de proposer des services personnalisés permettant de répondre aux besoins d'une application (ou d'un utilisateur) en composant des

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

services existants. Ce principe est appelé composition de services et permet de faire interagir et coordonner plusieurs services pour la réalisation d'un but (Gustavo, Casati, Kuno, & Machiraju, 2004).

Une composition de services est dite statique lorsque les composants (ou services) qui sont utilisés sont préalablement choisis et la gestion du flot est définie à priori. Par opposition, une composition est dite dynamique si les services sont sélectionnés et composés en fonction des besoins formulés par l'utilisateur (Charif, 2007).

Les approches de composition de services sont définies comme suit :

- Les techniques de composition manuelles et semi automatiques reposent sur la définition et la génération de scripts de Workflow qui sont ensuite soumis à un moteur d'exécution de Workflows. Ces techniques sont statiques puisque les services à composer sont préalablement sélectionnés (Osman T., Thakker D., & Al-DabassD., 2005).
- Les techniques de composition automatiques traitent les processus de composition comme un problème de planification. Dans ce cas, le moteur de composition est dynamique (Dustdar S., & Schreiner W., 2005).

La composition de services est « la capacité d'offrir des services à valeur ajoutée en combinant des services existants offerts par différentes organisations » (Casati & Shan, 2001). Le service qui résulte du processus de composition est appelé service composite (Alonso, Casati, Kuno, & Machiraju, 2004).

L'orchestration décrit les interactions (envoi et réception des messages) d'un service et des étapes internes de ces interactions. Elle permet à un service d'être enchaîné à d'autres d'une manière prédéfinie : elle est exécutée par des scripts qui décrivent les interactions en identifiant les messages, la logique et les séquences d'invocations. Le moteur d'orchestration exécutant ces scripts est une entité centralisée permettant de coordonner les interactions entre les services. L'orchestration des services spécifie des schémas de composition « ad hoc » où les services à composer sont présélectionnés : si un des services n'est pas disponible, le schéma de composition ne peut plus être valide (Charif, 2007).

La composition métier et la chorégraphie dynamique créent un Mashup de services à la volée grâce à leur description fonctionnelle (Figure 6.43). Les méta-modèles de définition de la production et les flux des données provenant des modules de médiation et de routage permettent au module de chorégraphie de disposer d'une vision globale de l'atelier et de définir les flux de production et d'outils de production pour un système de production autonome. Le module de composition métier / chorégraphie dynamique décrit une collaboration de services dont le but est d'atteindre un objectif donné pouvant être accompli grâce à des échanges ordonnés de messages.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

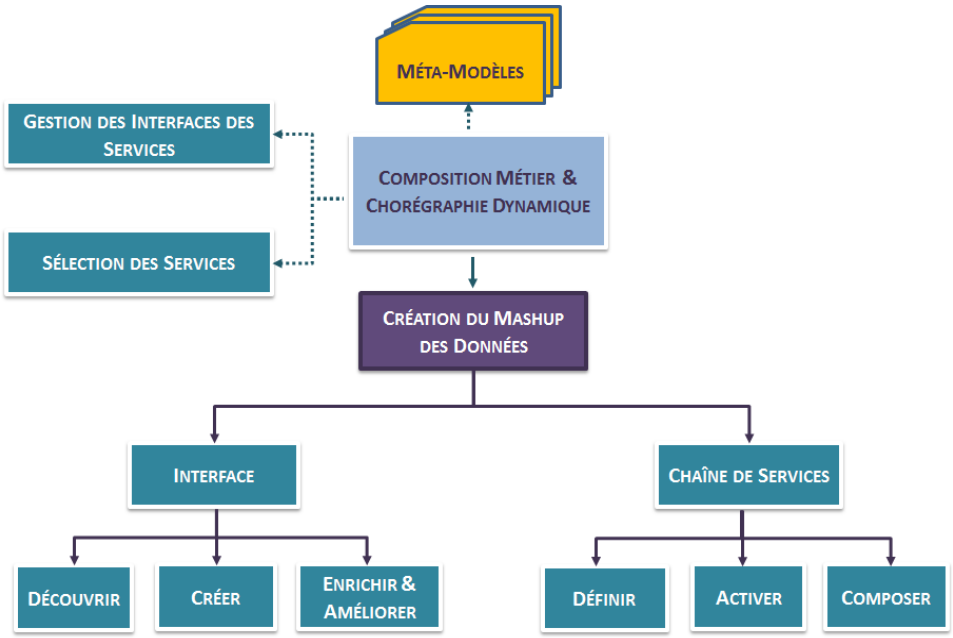


Figure 6.43. Création du Mashup des Services par le Module de Chorégraphie Dynamique

Il décrit les interactions dans lesquelles les services participent, les dépendances entre les interactions (flot de contrôle, flot de données, les messages, les contraintes de temps…) et définit ainsi une chaîne de services répondant à un besoin métier. Cette chaîne est organisée dans une logique en flux tiré (à partir des demandes des clients comme le montre l'algorithme présenté la Figure 6.44).

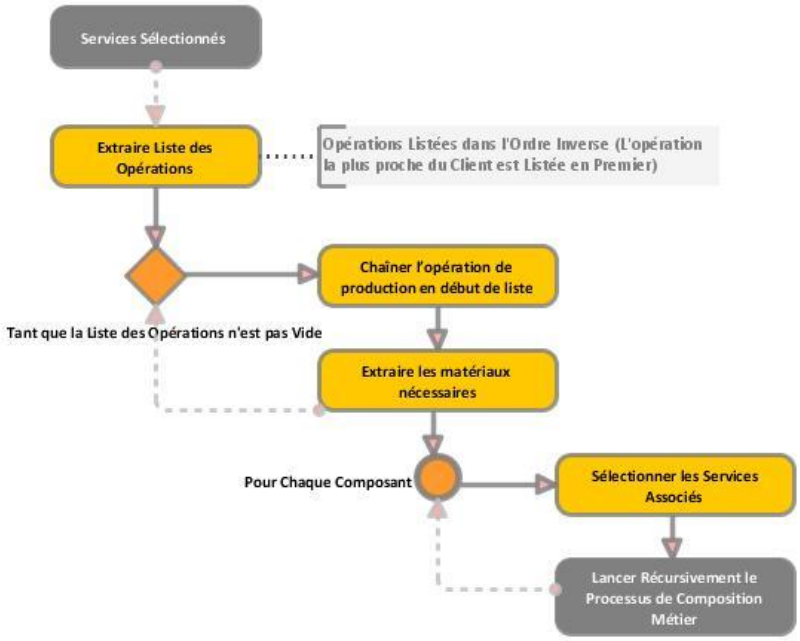


Figure 6.44. Algorithme de Chorégraphie Dynamique & Composition Métier

Le moteur de découverte procède à un « matching » de la description de la requête et des descriptions des services afin de sélectionner les services qui sont capables de répondre à cette requête métier. Le moteur de composition définit une chaine de services en réponse en mettant en place des interactions (flots de données, flots de contrôle, messages…) en tenant compte des

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

modes d'activation et des comportements des services. Le module de chorégraphie dynamique et composition métier est illustré dans la Figure 6.45.

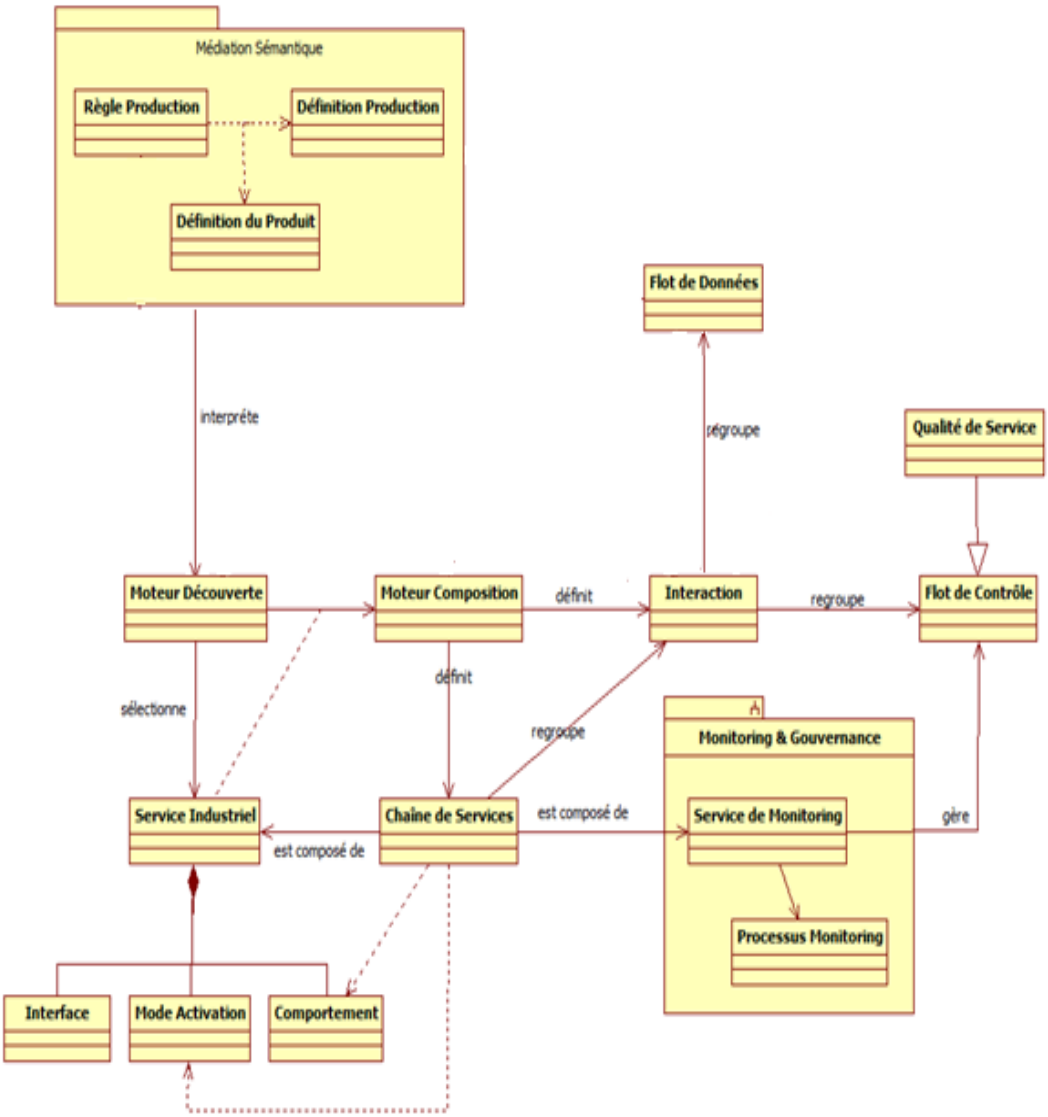


Figure 6.45. Méta Modèle de la Chorégraphie Dynamique & Composition Métier

Dans notre étude de cas, le module de chorégraphie dynamique gère les processus de production et de monitoring. Il orchestre les services et déclenche les processus de production et de monitoring à la réception d'une commande client en tenant compte d'une stratégie de production en flux tiré (Figure 6.46).

La chorégraphie dynamique compose le processus de production en faisant appel aux services suivants :

- Chargement des palettes vides
- Définition de l'étiquette
- Déplacement des palettes
- Lecture des étiquettes

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

- Récupération des informations du produit
- Chargement programme de production des machines
- Chargement des pièces dans les palettes vides
- Contrôle du produit fini...

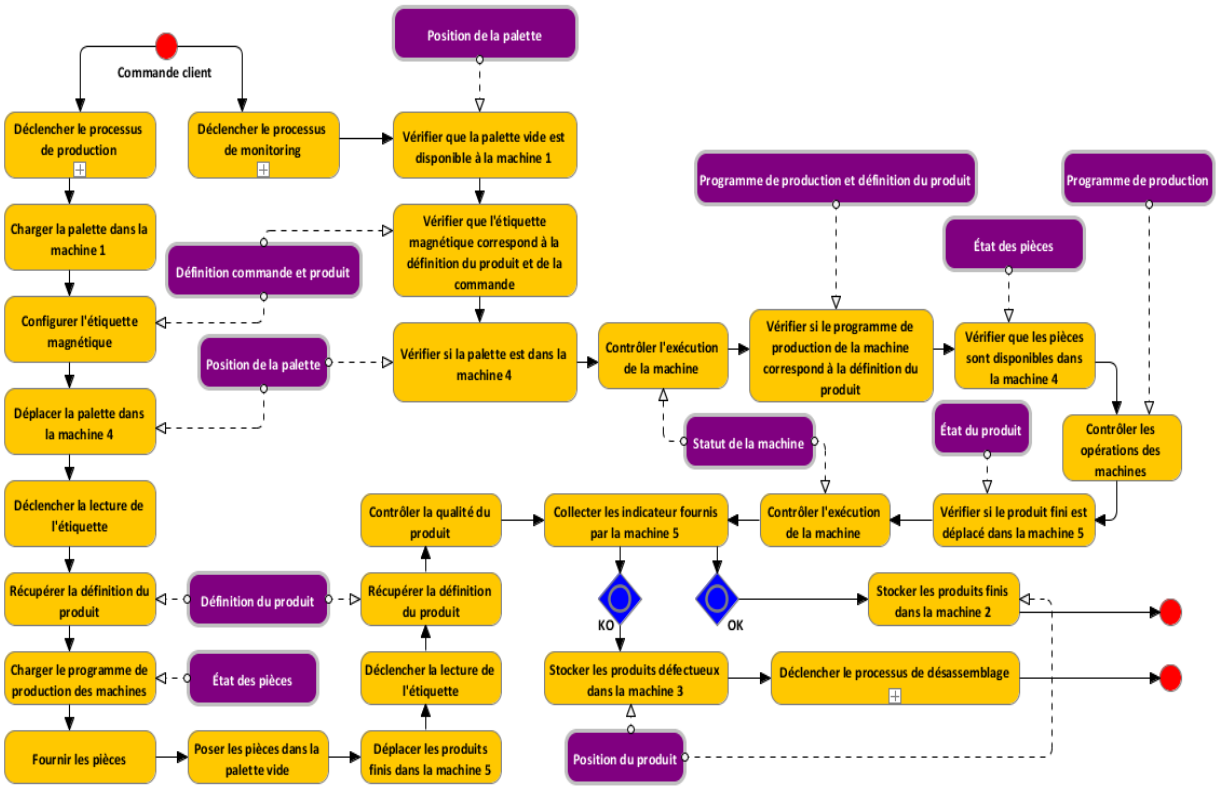


Figure 6.46. Description et Pilotage des Flux

Chaque service déclenché est supervisé par le processus de monitoring qui collecte les indicateurs de qualité provenant du capteur de la machine 5. Le module de chorégraphie compose ensuite le sous-processus de stockage selon les résultats fournis par le processus de monitoring (machine 3 pour désassemblage ou machine 2 pour livraison).

Grâce au Mashup des données du module de routage intelligent, le module de chorégraphie dynamique construit un Mashup de services (Figure 6.4). Il fait appel à de nouveaux services selon la logique du flux des données afin de répondre à un besoin métier.

6.7 Conclusion

Pour supporter la mise en œuvre de notre proposition d'architecture orientée services industriels, nous avons présenté dans ce chapitre la conception d'un middleware permettant d'ajouter une surcouche de sémantique industrielle aux bus de services traditionnels. Construite autour d'un référentiel ontologique pivot, qui intègre différents modèles de données métier, cette surcouche permet de mettre en œuvre la médiation sémantique (intra et inter métiers) et le processus dynamique de composition métier caractéristiques de notre proposition.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

Pour mettre en œuvre ce dernier processus dans une logique au plus juste, nous avons défini deux modules. Le module de routage intelligent participe à la sélection des services industriels composant les processus, ordonnance les processus physiques et alloue les ressources en tenant compte des contraintes de l'atelier. Le module de chorégraphie dynamique compose dynamiquement les processus à la volée en fonction des besoins clients et permet de pallier les anomalies de production en redéfinissant une nouvelle chorégraphie de services.

Enfin, le module de monitoring et gouvernance supervise tout le système grâce à l'ontologie du domaine permettant de définir des indicateurs de services et des indicateurs de production.

Une étude de cas simple et des prototypes des composants associés aux principales fonctions ont permis de valider nos propositions.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

Chapitre 7 Conclusion Générale et Perspectives

7.1 Rappel du Contexte et Démarche 157

7.2 Perspectives et Travaux Futurs 158

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

7.1 Rappel du Contexte et Démarche

Les contraintes économiques font appel à de nouvelles formes organisationnelles et stratégiques telles que l'organisation de collaboration interentreprises et la mise en place d'une stratégie Lean. Cette stratégie impose de gérer les processus et les ressources au plus juste en identifiant et éradiquant les sources de gaspillage. Elle repose sur le concept de la valeur dont la définition appartient au client (Womack & Jones, 2005). Organiser la production selon la chaine de la valeur suppose le développement d'une logique d'écoulement des flux en réponse à une demande client. Poussé à l'extrême, ceci conduit à lancer les approvisionnements que lorsque le client enregistre sa commande. Or la production de produits customisés dans des délais très courts suppose un outil de production performant et de pouvoir faire appel à des collaborations interentreprises. Il faut donc doubler les flux physiques de flux informationnels permettant d'assurer ce pilotage au plus juste. Or, les SI d'entreprise sont complexes, cloisonnés en silos (ce qui pose d'évidents problèmes d'interopérabilité métier) et sont donc non adaptés à la vision transverse du Lean Manufacturing.

Pour répondre aux enjeux du Lean Manufacturing, il faut rendre SI et l'organisation métier de l'entreprise :

- agile pour s'adapter à cette stratégie et s'aligner sur les besoins de l'entreprise,
- ouverte pour faciliter la communication et simplifier le schéma de la collaboration
- interopérable pour supporter les interactions entre les différents systèmes dans le cadre d'une production juste à temps et de collaborations interentreprises.

Ceci suppose de dépasser plusieurs verrous :

- comment maîtriser l'hétérogénéité des données et des systèmes et offrir une réelle interopérabilité métier
- comment organiser des processus « au plus juste » dans une logique de flux tiré permettant une reconfiguration « à la volée ».

Pour lever ces verrous, nous avons proposé une architecture orientée services industriels. Reposant sur une taxonomie des services industriels permettant d'organiser leurs propriétés fonctionnelles et non fonctionnelles et sur un mécanisme de composition métier organisé dans une logique de flux tiré, notre solution permet de construire dynamiquement un flux « informationnel » suivant la chaîne de valeur industrielle.

Pour permettre de mettre en œuvre cette architecture au dessus d'un SI d'entreprise, nous avons également proposé un middleware supportant l'organisation des services industriel et alignant le SI à son tour sur tous les domaines métier de l'entreprise. Ce middleware est construit en ajoutant une couche de sémantique industriel aux bus de services traditionnels. Cette couche sémantique est définie à travers le matching de deux ontologies, le standard ISA S-95 et l'ontologie EOCe middleware offre quatre modules principaux supportant les fonctions de médiation et de composition métier :

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

- Médiation inter-métier permet d'aligner le SI au métier de l'entreprise et de procurer une médiation « inter-métier » dans une collaboration interentreprises
- Chorégraphie dynamique qui compose les processus juste à temps en s'adaptant aux besoins du client et en corrigeant les défaillances de la production.
- Routage intelligent permet l'allocation des ressources matérielles (unités de production, matières premières, machines…) et humaines aux activités de production
- Monitoring et gouvernance supervise la production (rebuts, délais, production excédentaire…) et l'exécution des services (temps de réponse…). Ce module se base sur les notions de suivi et de traçabilité.

7.2 Perspectives et Travaux Futurs

Plusieurs pistes de travail sont ouvertes par cette recherche :

1) Intégration des différents composants du middleware et d'un ESB pour offrir une solution globale : en effet, notre prototype actuel a été construit en plusieurs éléments destinés à montrer la faisabilité et la validation de nos propositions. Il faut encore les intégrer à un outil existant pour offrir une réelle solution
2) Enrichissement de l'ontologie métier : Nous avons développé une ontologie pivot basée sur le standard ISA S-95 et Enterprise Ontology pour modéliser les principaux concepts métier. Nous proposons d'enrichir cette ontologie avec d'autres ontologies telles la maintenance et la qualité pour modéliser l'ensemble de l'entreprise (Thèse Omar SAKKA). L'alignement de ces ontologies métier nous permettra d'apporter une contribution significative dans la définition d'un SI industriel autonome intelligent.
3) Mise en place d'une plateforme « Autonomous Component » : Le SI industriel permettra de regrouper des composants industriels autonomes (Autonomous Component) définis comme services intelligents du Lean ESB et dont le fonctionnement ne dépendra d'aucune entité, ni utilisateur. Un service intelligent (composant industriel autonome) échangera des informations avec des ressources externes, décidera de comment utiliser la ressource et quand offrir ses services à une autre ressource. Il faudra, donc, définir des règles métier, en plus de les ontologies métier, permettant de modéliser le comportement autonome des services intelligents.
4) Intégration des possibilités offertes par les applications mobiles pour améliorer la gestion des flux : Le développement de l'Internet des objets et des technologies mobiles présente un vrai défi pour les organisations industrielles dans la mesure où ces technologies peuvent permettre d'anticiper certains résultats. Intégrer ces technologies dans notre architecture de services industriels suppose de créer plusieurs espaces : un espace « réel » et des espaces virtuels dans une logique de « what … if » permettant d'enrichir le mécanisme de composition métier d'information liées au contexte.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Actors Solution. (s.d.). Manufacturing Execution System. Consulté le 2008, sur http://www.actors-solutions.com/Manufacturing-Execution-System-MES 2010 Actors Solutions

Ait Hssain, A. (2000). "Optimisation des flux de production, Méthodes et simulation". Dunod.

Ali, L. (2008). "Gestionnaire d'infrastructure distribuée". Mémoire de Doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon.

Alonso, G., Casati, F., Kuno, H., & Machiraju, V. (2004). "Web Services – Concepts, Architectures and Applications". Springer Verlag. Heidelberg, Germany.

ANSI/ISA. (2007). Enterprise Contro"System Integration - Part I: Models and Terminology for Enterprise-Control System Integration". Instrument Society of America.

Baïna, S. (2006). "Interopérabilité dirigée par les modèles : une approche orientée produit pour l'intéropérabilité des systèmes d'entreprise". Thèse de doctorat, Université Henri Poincaré, Nancy I.

Ballé, M. (2008). "Lean Transformation: Learning to Learn from Lean". Récupéré sur Project Lean Enterprise.

Ballé, M., Beauvallet, G., Sobek, D., & Smalley, A. (2006). "The Thinking Production System" (Vol. vol 7 - deuxième édition). (Reflections, Éd.)

Bare, M., & Cox, J. J. (2008). "Applying principles of mass customization to improve the empirical product development process". Journal of Intelligent Manufacturing .

Ben Bachouch, R., Guinet, A., & Hajri-Garbouj, S. (2009). "Certification des structures d'hospitalisation à domicile VS certification ISO9000". CIGI'09 (Congrès International de Génie Industriel). Tarbes - France.

Bernus, P., & Nemes, L. (1997). "The Contribution of the Generalised Enterprise Reference Architecture to Concensus in the Area of Enterprise Integration". International Conference on Enterprise Integration and Modelling Technology (ICEIMT'97) (pp. 28-30). Turin, Italie: Springer.

Beuscart, R., Grave, C., Bricoteau, D., & Purro, N. (1993). "Les étapes de définition d'un système d'information hospitalier : la place des utilisateurs". Informatique Médicale et Stratégies Hospitalières. France: Springer-Verlag.

Bouchiba, A., & Cherkaoui, A. (2007). "Contribution de la modélisation combinée avec l'approche bayésienne dans l'amélioration des performances des processus métier. Cas de la sûreté ferroviaire au niveau de l'ONCF". CPI'2007. Rabat.

Capit. Etudes Techniques EDI. Récupéré sur http://www.capit.net/technique/edi.aspx

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

Casati, F., & Shan, M. C. (2001). "Dynamic and adaptive composition of e-services". Dans Elsevier (Éd.), Information Systems , (pp. 143–163).

Caseau, Y. (2006). "Urbanisation et BPM : Le point de vue d'un DSI" (éd. 2ème édition). Dunod.

Chaari, S. (2008). "Interconnexion des processus interentreprises : une approche orientée services". Thèse de Doctorat, INSA - Lyon.

Chabeb, Y., & Tata, S. (2008). “Yet Another Semantic Annotation for WSDL (YASA4WSDL)” . IADIS'08, (pp. 437–441).

Chappell, D. A. (2004). “Enterprise Service Bus”. O'Reilly Media books.

Charif, Y. (2007). "Chorégraphie dynamique de services basée sur la coordination d'agents introspectifs”. Thèse de Doctorat, Universitée Pierre et Marie Curie Paris VI.

Chen, D., & Daclin, N. (2006). "Framework for Enterprise Interoperability". IFAC TC5.3 Workshop EI2N06.

Crusson, T. (2003). "Business Process Management. De la modélisation à l’exécution.". Rapport Intalio.

Daclin, N., & Chapurlat, V. (2008). Evaluation de l'interopérabilité organisationnelle : Projet CARIONER". Récupéré sur Sup de Co Montpellier: http://www.supdeco-montpellier.com/fileadmin/cerom/docs_telechargement/MTO_2008/Daclin_Chapurlat_MTO_2008.pdf

Darras, F. (2004). "Proposition d'un cadre de référence pour la conception et l'exploitation d'un progiciel de gestion intégré". Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse, disponible sur http://www.univ-valenciennes.fr/GDR-MACS/these/These_f_darras.pdf.

Davis, S. M. (1987). "Future Perfect". (Addison, Éd.) Wesley Publishing Company.

De Freine, P. (2006). "Architecture Teradata MPP Orientée Services". Consulté le 2009, sur architectes.capgemini.com: http://architectes.capgemini.com/evenement/XIemeSymposium/presentationsPartenaires/teradata.pdf

DeVor, R., Graves, R., & Mills, J. J. (1997). "Agile Manufacturing Research: Accomplishments and Opportunities". IIE Transactions (pp. 813-823). IIE Transactions.

Doumeingts, G. ((a)1984). "Méthode GRAI : méthode de conception des systèmes en productique". Thèse d'Etat, Université de Bordeaux.

Doumeingts, G., Vallespir, B., Zanettin, M., & Chen, D. (. (1992). "GIM, GRAI Integrated Methodology – A Methodology for Designing CIM Systems". LAP/GRAI - Version 1.0, Université de Bordeaux I.

Drew, J., Callum, B., & Rogenhoffer, S. (2004). "Objectifs du Lean". Mc Kinsey& company.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

Dustdar, S., & Schreiner, W. (2005). A survey on web services composition. International Journal of Web and Grid Services. Inderscience Enterprises.

EBM Websourcing. (2006). “Nouvelles technologies pour l’intégration : les ESB”. Livre Blanc - PETAls ESB.

Erl, T. (2004). "Service-Oriented Architecture: A Field Guide to Integrating XML and Web Services". Prentice Hall, PTR.

Farrell, J., & Lausen, H. (2007). Semantic annotations for WSDL and XML schema. Récupéré sur W3C recommendation: http://www.w3.org/TR/2007/REC-sawsdl-20070828/

Ferrarini, L., Fogliazza, G., Mirandola, G., & Veber, C. (2006). "Control Architecture for Reconfigurable Manufacturing Systems: the PABADIS'PROMISE approach". ETFA'06, (pp. 545-552).

Forum, T., & Group, O. (2004). "SLA Management Handbook – Volume 4: Enterprise Perspective" (Vol. 4). (T. O. Group, Éd.)

Fournier-Morel, X., Grojean, P., Plouin, G., & Rognon, C. (2006). "SOA, le guide de l'architecte". Dunod.

Fourrier-Morel, X., Grojean, P., Plouin, G., & Rognon, C. (2008). "SOA le Guide de l'Architecture du SI". Dunod.

Fox, M. S., & Gruninger, M. (Toronto, Ontario). "Ontologies for Enterprise Integration". 2nd Conference on Cooperative Information Systems.

Fox, M. S., & Gruninger, M. (1994). “Ontologies for Enterprise Integration". 2nd Conference on Cooperative Information Systems. Toronto, Ontario.

George, M. L. (2005). "Lean Six Sigma pour les Services - Comment utiliser la vitesse Lean & la qualité Six Sigma pour améliorer vos services et transactions". Maxima.

Goldman, S., Nagel, R., & Preiss, K. (1995). "Agile competitors and virtual organisations" . New York: Van Nostrand Reinhold.

GustavoA., Casati F., Kuno H., and Machiraju V. (2004) “Web Services. Concepts, Architectures and Applications”. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.

Habchi, G. (2001). "Conceptualisation & modélisation pour la simulation des systèmes de production". Rapport d'habilitation à diriger des recherches, Université de Savoie.

Harrington, J. (1991). "Business Process Improvement: the breakthrough strategy for total quality, productivity, and competitiveness". McGraw-Hill.

Hatley, D. J., & Pirbhai, I. A. (1986). "Stratégies de spécification des systèmes temps réel : SART". Masson.

Hwang, Y. H. (2006). "The practices of integrating manufacturing execution systems and Six Sigma methodology”. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology , 145-154.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

IDEAS Project. (2003). "Ontology state of the art". Deliverable D1.1, www.ideas-roadmap.net.

IFIP - IFAC Task Force. (1999). GERAM: The Generalised Enterprise Reference Architecture and Methodology". Récupéré sur http://www.cit.gu.edu.au/~bernus

Institut Curis. (s.d.). Un système d'information hospitalier. Consulté le Septembre 2009, sur Curie: http://www.curie.fr/hopital/presentation/info_hospitalier.cfm/lang/_fr.htm

Javel, G. (2004). "Organisation et Gestion de Production". Paris: Dunod.

Khoshafian, S. (2007). “Service Oriented Enterprise”. Auerbach Publications Taylor & Francis Group.

Kohler, F. (1992). "Le système d'information hospitalier. Enjeux de pouvoirs et contraintes de développement = The hospital information system. Power stakes and development restraints". Gestions hospitalières .

Kopp, O., Mietzner, R., & Leymann, F. (2009). "The Influence of an External Transaction on a BPEL Scope”. On the Move to Meaningful Internet Systems (pp. 381-388). Berlin - Heidelberg: Springer .

Lataste, M. (1997). "Le projet d'hospitalisation à domicile : Application à l'Acquitaine". Bulletin de Société Pharmaceutique, Bordeaux.

Laudon, K., & Laudon, J. (2006). "Management des Systèmes d’Information". Pearson Education.

Lean Bucker. (s.d.). Lean Manufacturing. Récupéré sur Lean Manufacturing Eduation: http://www.buker.com/Lean-manufacturing/education

Longépé, C. (2003). "The Enterprise Architecture IT Project - The Urbanization Paradigm". Dans Elsevier (Éd.), London: Kogan.

Lonjon, A. (2004). "Business Process Modeling and Standardization". BPTrends online article, http://www.bptrends.com.

Louis, A. (2008). “ESB Topology Alternatives”. Livre blanc.

Mahmoud, Q. H. (2005). "Service-Oriented Architecture (SOA) and Web Services: The Road to Enterprise Application Integration (EAI)".

Manouvrier, B., & Ménard, L. (2007). “Intégration applicativre EAI, B2B, BPM et SOA”. Hermes Science.

Martin, D., Paolucci, M., & Wagner, M. (2007). “Bringing Semantic Annotations to Web Services: OWL-S from the SAWSDL Perspective”, Springer, of , pp. , ,. Dans The Semantic Web (pp. 340-352). Springer book Computer Science.

Mathieu, H. (2004). "Modélisation conjointe de l’infrastructure et des processus pour l’administration pro-active de l’entreprise distribuée". Thèse de Doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon.

Mc Clellan, M. (1997). “Applying manufacturing execution systems” . St Lucie press .

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

Médan, P., & Gratacap, A. (2008). "Logistique et SCM". Dunod.

Melnyk, S. A., & Carter, L. (1987). "Production Activity Control". McGraw-Hill Professional Publishing.

Menzel, C. P., & Mayer, R. J. (1998). "The IDEF Family". Dans P. Bernus, K. Mertins, & G. Schmidt, Handbook on Architectures of Information Systems". Berlin, Springer.

Messaadia, M., Belkadi, F., Gidel, T., Troussier, N., & Eynard, B. (2009). "PLM as a startegic approach supporting requirement management process". PLM'09.

Molina, A., & Santaelle, A. R. (2006). "Achieving e-Manufacturing: multihead control and web technology for the implementation of a manufacturing execution system". (Springer, Éd.) Journal of Intelligent Manufacturing , 17 (6), 715-724.

Nawrocki, C. (2004). "Les Services Informatiques". Dunod.

Osman, T., Thakker, D., & Al-Dabas, D. (2005). "Bridging the Gap between Workflow and Semantic-based Web services composition". Nottingham Trent University, School of Computing & Informatics, United Kingdom.

Ourari, S. (2003). "Approches et Outils d'Aide à la Décision pour le Pilotage des Systèmes de Production". CISTEMA'03.

Panetto, H. (2006). "Méta-modèles et modèles pour l'intégration et l'interopérabilité des applications d'entreprises de production". Fiche détaillée, Université Henri Poincaré - Nancy I.

Petit, M., Goossenaerts, J., Gruninger, M., Nell, J. G., & Vernadat, F. B. (1997). "Formal Semantics of Enterprise Models". Conference on Enterprise Integration and Modelling Technology (ICEIMT'97). Italie: Berlin - Springer.

Porter, M. (1986). "L'avantage concurrentiel". Dunod.

Predit. (2007). La coopération, condition de survie pour les PME de transports. Récupéré sur Portail documentaire du ministère de l'écologie: http://portail.documentation.equipement.gouv.fr/documents/dri/RECHSYNTH36.pdf

Rivard, F., Brendel, C., Buche, N., Delayre, S., Mocaër, A., & Nevers, J. (2005). "SOA et urbanisme - Le rôle des Architectures Orientées Services dans l'alignement métier des Systèmes d'Information". Logica - Cabinet de Conseil.

Roboam, M. (1993). "La Méthode GRAI : Principes, Outils, Démarche et Pratique". Toulouse: Teknea.

Ross, D. T. (1977). "Structured Analysis (SA): a language for communicating ideas". IEEE Transactions on Software Engineering (TSE), 3.

Roura, J., & Thabourin, G. (2006). "L'entreprise Lean, les suites de PPJ (production juste à temps)". Pourquoi et comment valoriser ses innovations ?

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

Scheer, A.-W. (2002). "ARIS - Des processus de gestion au système intégré d'application". Springer - Verlag.

Scheer, A.-W. (1993). Architecture of Integrated Information System (ARIS). JSPE-IFIP WG 5.3 Workshop on the Design of Information Infrastructure System of Manufacturing (DIISM'93), (pp. 177-191). Tokyo, Japan.

Scheer, A.-W., Galler, J., & Kruse, C. (1994). "Workflow management within the ARIS framework". European Workshop on Integrated Manufacturing Systems Engineering. Grenoble - France: Chapman & Hall.

Schmidt, M. T., Hutchinson, B., Lambros, P., & Phippen, R. (2005). "The Enterprise Service Bus: Making Service Oriented Architecture Real". IBM System Journals , 44 (4), 781-797.

Siemens Industrial Solutions & Services. (2005). "Manufacturing Execution System (MES)". Récupéré sur Siemens ST PC: http://www.industry.siemens.com/broschueren/pdf/metals/simelt/en/E10001-P12-A48-V2-7600_SIMELT_MES.pdf

Sliman, L., Zayati, A., Biennier, F., Badr, Y., & Moalla, M. (2009). "Interopérabilité et Définition des Services Industriels". CIGI'09.

Tomas, J. L., & Bourdellès, G. (2007). "ERP et PGI sélection, méthodologie de déploiement et gestion du changement : Les clés du succès, les facteurs de risques". Dunod.

Trilling, L., Besombes, B., Chaabane, S., & Guinet, A. (2004). *Rapport de recherche sur le projet HRP2*.Lyon.

USCHOLD, M., KING, M., MORALEE, S., & ZORGIOS, Y. (1997). "The Enterprise Ontology". AIAI University of Edinburgh.

Uschold, M., Moralee, S., King, M., & Zorgios, Y. (1996). "Ontologies: Principles, Methods and Applications". Knowledge Engineering Review , Vol. 11-N°2.

Vallespir, B. (2003). "Modélisation d'entreprise et architecture de conduite des systèmes de production". Mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches, Université de Bordeaux.

Vallespir, B., Braesch, C., Chapurlat, V., & Crestani, D. (2003). "L'intégration en modélisation d'entreprise : les chemins d'UEML". MOSIM'03. Toulouse, France.

Vernadat, F. (1996). "Enterprise Modelling and Integration: Principles and Applications". Chapman & Hall.

Vernadat, F. (1999). "Techniques de modélisation en entreprise : Application aux processus opérationnels". Economica.

Vernadat, F. (2002). "UEML: Towards a Unified Enterprise Modelling Language". International Journal of Production Research (40(17)), 4309-4321.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

Vieille, J., & (a). (2000). Regard S88/S95 sur le(s) cycle(s) de vie du système de production : Automatisation des procédés continus et discrets. (d. l. Société de l'Electricité, Éd.) REE - Revue de l'électricité et de l'électronique .

Vieille, J., & (b). (2000). "Intégration Production - Entreprise : La norme ANSI/ISA S95". Présenté aux 10 ème journées des CPIM, France .

W3C. (2004). "OWL-S: Semantic Markup for Web Services". Consulté le 2009, sur W3C: http://www.w3.org/Submission/OWL-S/

Ward, S., & Mellor, S. (1985). "Structured analysis for real-time systems". Prentice Hall.

Williams, T. J., & Li, H. (1997). "The task force specification for GERAM and its fulfillment by PERA". Annual Reviews in Control , (21) 137-147.

Womack, J. P., & Jones, D. T. (2005). "Lean thinking" . Simon et Schuster.

Womack, J., & Jones, D. (2003). "Système Lean : penser l'entreprise au plus juste" (Vol. Deuxième Edition). Village Mondial.

Ali, L. (2008). *Gestionnaire d'Infrastructure Distribuée.*

Auffray, C. (2006, 06 28). *Les Mashups, applications Web composites très Web 2.0.* Récupéré sur Journal du Net: http://www.journaldunet.com/solutions/0606/060628-qr-Mashup-hybride.shtml

Dustdar, S., & Schreiner, W. (2005). A Survey on Web services Composition. *International Journal of Web and Grid Services*.

Gustavo, A., Casati, F., Kuno, H., & Machiraju, V. (2004). Web Services. Concepts, Architectures and Applications. *Springer-Verlag*.

Mikkonen, T., & Salminen, A. (2011). Towards a Reference Architecture for Mashups. (Springer-Verlag, Éd.) *OTM Workshops LNCS 7046*, 647-656.

Osman, T., Thakker, D., & Al-Dabass, D. (2005). Bridging the Gap between Workflow and Semantic-based Web services Composition. *In Proc. of the Web Service Composition Workshop*.

Trilling, L., Besombes, B., Chaabane, S., & Guinet, A. (2004). *Rapport de recherche sur le projet HRP2.*Lyon.

Zayati, A., Biennier, F., Moalla, M., & Badr, Y. (2010). Towards Lean Service Bus Architecture For Industrial Integration Infrastructure and Pull Manufacturing Strategy. *Journal of Intelligent Manufacturing - N°10845 - ISSN 0956-5515*.

Zayati, A., Sidhom, L., Badr, Y., Biennier, F., & Moalla, M. (2010). Towards Business Ontologies Matching for Inter-Enterprise Collaboration Platform in a Lean Manufacturing Strategy. *PROVE'10 Special Session on 11th IFIP in Working Conference on Virtual Enterprises*(149).

Zayati, A., Sliman, L., Biennier, F., Badr, Y., & Moalla, M. (2009). "Framework de Bus de Services de Data Mining pour un Système d'Information Industriel". SETIT'09 - IEEE.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés

Zhao, Y. Z., Zhang, J. B., Zhuang, L. Q., & Zhang, D. H. (2005). “Service-Oriented Architecture and Technologies for Automating Integration of Manufacturing Systems and Services”. ETFA'05, (pp. 349-355).

Zouggar, N., Vallespir, B., & Chen, D. (2006). "Enrichissement de la modélisation d’entreprise par les ontologies". MOSIM'06.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0054/these.pdf
© [A. Zayati], [2012], INSA de Lyon, tous droits réservés