



**HAL**  
open science

# Ingénierie système et système de production manufacturière: intégration de l'avolution des exigences dans le PLM

Mourad Messaadia

► **To cite this version:**

Mourad Messaadia. Ingénierie système et système de production manufacturière: intégration de l'avolution des exigences dans le PLM. Automatique / Robotique. Université Paul Sabatier - Toulouse III, 2008. Français. NNT: . tel-00309955

**HAL Id: tel-00309955**

**<https://theses.hal.science/tel-00309955>**

Submitted on 7 Aug 2008

**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.



# THÈSE

En vue de l'obtention du  
**DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE TOULOUSE**

Délivré par *l'Université Toulouse III - Paul Sabatier*  
Discipline ou spécialité : *Systèmes industriels*

---

Présentée et soutenue par *Mourad MESSAADIA*  
Le 11 Avril 2008

**Titre :** *INGENIERIE SYSTEME ET SYSTEME DE PRODUCTION MANUFACTURIERE:  
INTEGRATION DE L'EVOLUTION DES EXIGENCES DANS LE PLM*

---

## JURY

*M. Mario PALUDETTO* Professeur, Université UPS Toulouse III Président  
*M. Sebti FOUFOU* Professeur, Université de Bourgogne, Dijon Rapporteur  
*M. Nouredine ZERHOUNI* Professeur, Ecole Nat. Sup ENSMM, Besançon Rapporteur  
*M. Pierre DE-CHAZELLES* Ingénieur Système, AIRBUS, Toulouse Examineur  
*M. Jean-Claude MARTY* Architecte fonctionnel des solutions PLM de Dassault Systèmes,  
Toulouse Examineur  
*M. Issa TRAORE* Professeur Associé, Université de Victoria, Canada Examineur

---

**Ecole doctorale :** *EDSYS*  
**Unité de recherche :** *Nom de l'Unité de recherche*  
**Directeur(s) de Thèse :** *Abd-El-Kader SAHRAOUI*



**A**  
***la mémoire de***  
***ma grand mère***



# REMERCIEMENT

---

Les travaux de ce mémoire ont été réalisés au Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des Systèmes du Centre National de la Recherche Scientifique (LAAS-CNRS) au sein du groupe ISI. Je tiens tout d'abord à remercier les directeurs successifs du LAAS, Messieurs Malik GHALLAB et Raja CHATILLA pour leur accueil.

Je tiens à remercier Messieurs Mario PALUDETTO et Hamid DEMMOU, successivement responsables du groupe ISI, de m'y avoir accueilli durant ces années de thèse.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à mon directeur de thèse Abd-El-Kader SAHRAOUI. J'ai toujours pu compter sur sa disponibilité, son attention et son amitié. La porte de son bureau a toujours été ouverte et nombre des intuitions de ce travail de recherche sont nées de discussions autour de son bureau ou de tasses de café. Je le remercie de n'avoir jamais oublié que derrière le travail de thèse il y avait un thésard avec sa vie, ses angoisses, sa personnalité et sa culture. En plus d'une compétence scientifique forçant l'admiration, il a su faire preuve de patience et d'ouverture. Sa confiance et son coaching ont été le socle de ce travail. Merci Kader.

Je tiens à remercier,

Messieurs les professeurs Nouredine ZERHOUNI et Sebti FOUFOU, qui ont bien voulu rapporter ce travail, pour leurs critiques constructives qui m'ont permis d'améliorer la qualité de ce rapport.

J'adresse mes remerciements les plus sincères aux membres du jury : Issa TRAORE, Jean-Claude Marty et Pierre DE-CHAZELLES qui m'ont fait l'honneur de bien vouloir juger ce travail.

Monsieur Mario PALUDETTO, qui m'a fait l'honneur de présider ce jury et surtout son aide précieuse dans la rédaction du manuscrit.

Je remercie spécialement ma sœur Karima qui a su m'encourager tout au long de ces années.

Je voudrais aussi remercier Aïmed, Amar, Chad, Fouad, Hani, Hcen, Jacqueline, Nabil, Romaric, Rabah, Ramdane, Lotfi, Adel, youcef, pour leur soutien encouragement et leur disponibilité.

Je remercie mes amis, dont je ne citerai pas les noms, qui m'ont fourni tout au long de ces années les moments de détente nécessaires au maintien de mon état mental.

Je remercie mes parents sans qui rien n'aurait été possible, et qui m'ont accompagné tout au long de mes études ;

Enfin à tous ceux qui m'ont soutenu moralement pendant la rédaction de cet ouvrage.

*Mourad*

# TABLE DES MATIERES

<b>ACRONYMES</b> .....	<b>G- 1 -</b>
<b>INTRODUCTION GENERALE</b> .....	<b>1</b>
<b>CHAPITRE I : ROBLEMATIQUE ET ETAT DE L'ART</b> .....	<b>5</b>
<b>1. INTRODUCTION</b> .....	<b>5</b>
<b>2. PRODUITS MANUFACTURIERS ET NECESSITE D'INTEGRATION DE NOUVELLES TECHNOLOGIES</b> .....	<b>6</b>
<b>3. PROBLEMATIQUE ABORDEE</b> .....	<b>6</b>
3.1. L'EVOLUTION DU SYSTEME.....	7
3.2. CHANGEMENT DES EXIGENCES .....	8
3.2.1. Volatilité des exigences (RV) .....	8
3.2.2. L'effet de la volatilité des exigences .....	9
3.2.3. Etude statistique sur la volatilité .....	9
3.2.4. Volatilité et densité de défaut.....	10
3.2.5. Le coût d'une correction .....	10
3.2.6. Impact du changement des exigences .....	11
3.3. SYSTEME D'INFORMATION (SI).....	12
<b>4. ETAT DE L'ART</b> .....	<b>14</b>
4.1. NORMES DANS L'INDUSTRIE .....	15
4.1.1. NORMES POUR LES CADRES ARCHITECTURAUX .....	15
4.1.2. NORMES DE CONTENU .....	16
4.1.3. NORMES DE MODELISATION DE L'INFORMATION .....	16
4.2. INTEROPERABILITE ENTRE NORMES.....	17
4.2.1. DEFINITIONS DE L'INEROPERABILITE .....	18
4.2.2. CONCEPTS DE L'INTEROPERABILITE .....	18
4.2.3. LES DONNEES PRODUIT DANS LE PLM .....	20
4.2.4. CLASSIFICATION DES NORMES .....	20
4.2.5. DEVELOPPER UN NOUVEAU STANDARD ? .....	23
<b>5. CONCLUSION</b> .....	<b>24</b>
<b>CHAPITRE II : YCLE DE DEVELOPPEMENT DU PRODUIT ET DU SYSTEME DE PRODUCTION</b> .....	<b>27</b>
<b>1. INTRODUCTION</b> .....	<b>27</b>
<b>2. CYCLE DE VIE DU PRODUIT</b> .....	<b>28</b>
2.1. PHASES DU CYCLE DE VIE DU PRODUIT .....	28
2.2. L'ANALYSE DU CYCLE DE VIE DU PRODUIT .....	30
<b>3. LE BESOIN D'UN MODELE DE PRODUIT</b> .....	<b>31</b>
3.1. LA MODELISATION .....	32
<b>4. QUELQUES MODELES</b> .....	<b>35</b>
4.1. MODELE A BASE DE HOLON.....	35
4.1.1. Holon.....	35
4.1.2. Structure du modèle .....	36
4.2. SYNTHESE 1 .....	39
4.3. CPM : CORE PRODUCT MODEL.....	40
4.4. LES CLASSES CPM.....	40
4.4.1. Synthèse2 .....	43
4.5. OAM : OPEN ASSEMBLY MODEL .....	43
<b>5. CONCLUSION</b> .....	<b>44</b>

**CHAPITRE III : DEPLOIEMENT DE L'IS AUX PRODUITS MANUFACTURIERS**

..... 47

- 1. INTRODUCTION..... 47**
  - 1.1. INTRODUCTION A L'IS ..... 48
- 2. Caractérisation des systèmes de production manufacturière..... 49**
  - 2.1. LES METHODOLOGIES DE MODELISATION ..... 50
  - 2.2. RELATIONS AVEC L'IS ..... 51
- 3. DEPLOIEMENT EN TENANT COMPTE DE L'EVOLUTION DU PRODUIT .... 52**
  - 3.1. PROCESSUS DES EXIGENCES ..... 52
    - 3.1.1. Processus d'ingénierie des exigences..... 52
    - 3.1.2. Les objectifs de l'ingénierie des exigences ..... 53
    - 3.1.3. L'identification des parties prenantes..... 54
    - 3.1.4. L'élicitation des exigences ..... 55
    - 3.1.5. L'analyse des exigences ..... 56
    - 3.1.6. La formalisation des exigences ..... 57
    - 3.1.7. La vérification/ validation des exigences ..... 58
    - 3.1.8. La modification des exigences ..... 58
  - 3.2. DEPLOIEMENT ..... 58
  - 3.3. PROCESSUS DE CONCEPTION..... 59
  - 3.4. PROCESSUS DE REALISATION ..... 59
  - 3.5. PROCESSUS DE VERIFICATION ET DE VALIDATION..... 59
- 4. INGENIERIE SYSTEME..... 60**
  - 4.1. NORMES D'IS ..... 61
    - 4.1.1. Définitions d'un système..... 63
    - 4.1.2. Définition 1 ..... 63
    - 4.1.3. Définition 2 ..... 63
    - 4.1.4. Définition 3 ..... 64
    - 4.1.5. Définition 4 ..... 64
- 5. DEPLOIEMENT A L'AIDE D'UNE NORME ..... 64**
  - 5.1. Processus de l'EIA-632..... 67
  - 5.2. Processus d'acquisition et de fourniture ..... 67
  - 5.3. Processus du management ..... 67
  - 5.4. Processus de conception ..... 68
  - 5.5. Processus de réalisation ..... 69
  - 5.6. Processus d'évaluation technique ..... 69
- 6. L'APPROCHE DE L'IS POUR LA COORDINATION DES SYSTEMES DE PRODUCTION ..... 70**
- 7. CYCLE DE VIE DU PRODUIT DANS L'IS..... 71**
- 8. CONCLUSION..... 75**

**CHAPITRE IV : PRODUIT FINAL ET PRODUIT CAPACITANT..... 77**

- 1. INTRODUCTION..... 77**
- 2. LE PLM COMME OUTIL DE TRACABILITE ..... 78**
  - 2.1. DEFINITION DU PLM ..... 78
  - 2.2. L'acronyme PLM..... 79
  - 2.3. Définitions ..... 80
  - 2.4. Le PLM élément d'innovation ..... 81
  - 2.5. LE PLM comme produit final..... 82
- 3. LIEN ENTRE PRODUIT FINAL ET PRODUIT CAPACITANT ..... 83**
  - 3.1. LE PRODUIT FINAL (End Product) ..... 84
    - 3.1.1. Blocs de construction ..... 84
    - 3.1.2. Eléments du produit final ..... 84
    - 3.1.3. Eléments du produit capacitant ..... 85

3.1.4.	Concept du cycle de vie d'ingénierie .....	87
3.2.	LA CONCEPTION DES SYSTEMES .....	89
3.2.1.	Processus de définition des exigences .....	89
3.2.2.	Processus de définition de la solution .....	89
3.2.3.	Le PLM et les processus de conception .....	90
3.2.4.	Processus pour les parties prenantes .....	91
3.3.	LA DEMARCHE DU LIEN .....	92
<b>4.</b>	<b>APPROCHE DE LIEN ET TRACABILITE .....</b>	<b>95</b>
<b>5.</b>	<b>DEMARCHE ET ETUDE DE CAS.....</b>	<b>99</b>
5.1.	Décision lors de la conception .....	100
5.2.	Processus IS .....	100
5.3.	Illustration.....	101
<b>6.</b>	<b>CONCLUSION.....</b>	<b>104</b>
<b>CHAPITRE V :INTEGRATION DU PROCESSUS DE CHANGEMENT DES EXIGENCES.....</b>		<b>107</b>
<b>1.</b>	<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>107</b>
<b>2.</b>	<b>ANALYSE D'IMPACT.....</b>	<b>108</b>
2.1.	La collaboration en termes d'ingénierie.....	110
2.2.	Processus de développement du système.....	111
<b>3.</b>	<b>GESTION DE L'IMPACT .....</b>	<b>113</b>
3.1.	Modèle de traçabilité.....	114
3.2.	Les processus .....	117
<b>4.</b>	<b>DEMARCHE D'INTEGRATION DES EXIGENCES.....</b>	<b>119</b>
4.1.	Les Exigences .....	119
4.1.1.	Phase 1 : Initialisation .....	121
4.1.2.	Phase 2 : Evaluation .....	122
4.1.3.	Phase 3 : Réalisation .....	123
4.1.4.	Phase 4 : Validation .....	124
4.2.	Exemple du vélo .....	126
<b>5.</b>	<b>APPROCHE DE L'INTEGRATION DE LA DEMARCHE.....</b>	<b>131</b>
5.1.	INTEGRATION AU NIVEAU AFIS .....	131
5.2.	INTEGRATION AU NIVEAU DU MODELE CPM .....	134
<b>6.</b>	<b>CONCLUSION.....</b>	<b>135</b>
<b>CONCLUSION GENERALE.....</b>		<b>137</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>		<b>139</b>
<b>ANNEXE .....</b>		<b>A- 1 -</b>
<b>1.</b>	<b>OUTILS PLM.....</b>	<b>A- 1 -</b>
<b>2.</b>	<b>TRACABILITE LE LONG DU CYCLE DE VIE DU PRODUIT.....</b>	<b>A- 3 -</b>
2.1.	La traçabilité : définition.....	A- 3 -
2.2.	Le code à barres .....	A- 4 -
2.3.	RFID .....	A- 4 -
<b>3.</b>	<b>MODELISATION EIA 632.....</b>	<b>A- 5 -</b>
3.1.	LA CONCEPTION DU SYSTEME .....	A- 5 -
3.2.	DEFINITION DE LA SOLUTION .....	A- 6 -
3.3.	REPRESENTATION DE LA SOLUTION LOGIQUE.....	A- 7 -
3.4.	REPRESENTATION DE LA SOLUTION PHYSIQUE .....	A- 8 -
<b>4.</b>	<b>MODELE DE DONNEES AFIS, VERSION 2.0 .....</b>	<b>A- 9 -</b>



## TABLE DES FIGURES

Figure 1.1.	coût de correction durant le développement-----	11
Figure 1.2.	Impact du changement sur le système -----	12
Figure 1.3.	Le diagramme états transitions pour la demande de changement [ELJ-06].-----	13
Figure 1.4.	la norme PLM-XML dans le Cycle de vie du Produit -----	17
Figure 1.5.	Interopérabilité entre les normes-----	18
Figure 1.6.	Interaction entre normes -----	19
Figure 1.7.	Normes Ouvertes du PLM-----	22
Figure 1.8.	Trois classes de normes -----	23
Figure 2.1.	Les phases du cycle de vie du produit dans le marché [TER-05] .....	28
Figure 2.2.	Phases du cycle de vie produit [ONK-98, TER-05] .....	29
Figure 2.3.	Cycle de vie Produit/Système production .....	31
Figure 2.4.	Du système vers le modèle .....	33
Figure 2.5.	La nouvelle génération de modèle de produit.....	34
Figure 2.6.	Modèle Holonique [TER-05] .....	36
Figure 2.7.	Phases du cycle de vie [TER-05] .....	37
Figure 2.8.	Application au vélo .....	39
Figure 2.9.	Diagramme de Classe du CPM (version 2) [FOU-05].....	41
Figure 2.10.	Exemple d'application (simplifié) du CPM sur le vélo .....	42
Figure 2.11.	Diagramme de Classe de l'OAM [FOU-05].....	44
Figure 3.1.	Généalogie des normes selon l'INCOSE .....	49
Figure 3.2.	Les objectifs de l'ingénierie des exigences [ELJ-06].....	54
Figure 3.3.	Ingénierie système.....	60
Figure 3.4.	Trois normes vues par l'IS.....	61
Figure 3.5.	Processus pour le développement des produits finaux.....	65
Figure 3.6.	Le système décomposé en produit final et produit capacitant .....	66
Figure 3.7.	Un module dans le cadre de l'EIA-632.....	66
Figure 3.8.	Cycle de vie du produit .....	71
Figure 3.9.	Structure du système à travers l'EIA632 .....	72
Figure 3.10.	Système de maintenance à travers l'IS.....	74
Figure 3.11.	Décomposition du vélo.....	74
Figure 3.12.	Décomposition de la production.....	75
Figure 4.1.	Le produit, pilier de l'entreprise [DEB-05].....	80
Figure 4.2.	Le PLM à travers l'IS .....	82
Figure 4.3.	Comment obtenir le produit final via la norme EIA632.....	84
Figure 4.4.	Vers une nouvelle version du système de production.....	88
Figure 4.5.	Les processus de conception de systèmes selon EIA-632.....	89
Figure 4.6.	Processus pour l'IS.....	92
Figure 4.7.	Hiérarchie Projet/Système .....	93
Figure 4.8.	Représentation du lien end product et enabling product .....	95
Figure 4.9.	Modèle du système vu par la norme EIA 632 en UML .....	96
Figure 4.10.	De l'exigence vers le modèle .....	96
Figure 4.11.	Le modèle de lien des exigences .....	97
Figure 4.12.	Prise en compte du système de production dès les premières phases de développement du produit final	97
Figure 4.13.	Modèle du lien produit final-produit capacitant.....	98
Figure 4.14.	Modèle simplifié du système de production .....	98
Figure 4.15.	Conception.....	100
Figure 4.16.	Définition .....	102
Figure 4.17.	Production d'un cadre de vélo.....	102
Figure 4.18.	processus de fabrication du cadre du vélo.....	103
Figure 4.19.	Scénario du lien des systèmes production et produit .....	104

## Table des figures

Figure 5.1.	Développement du produit en Collaboration [LI -07].....	109
Figure 5.2.	Développement du produit.....	111
Figure 5.3.	Processus de la gestion technique [EIA632] .....	112
Figure 5.4.	Modèle (workflow) du processus du développement du système. ....	113
Figure 5.5.	Changement d'exigence et liens de traçabilité .....	115
Figure 5.6.	Modèle de traçabilité.....	117
Figure 5.7.	Modèle de traçabilité raffiné.....	117
Figure 5.8.	Processus de changement.....	118
Figure 5.9.	Etapas d'évolution d'une exigence .....	120
Figure 5.10.	Etapas détaillées d'évolution d'une exigence .....	121
Figure 5.11.	Modèle d'intégration .....	125
Figure 5.12.	Modèle d'intégration détaillé.....	126
Figure 5.13.	Evolution de l'exigence.....	127
Figure 5.14.	processus de fabrication du cadre du vélo.....	128
Figure 5.15.	Lien des systèmes production et produit .....	130
Figure 5.16.	Modèle conceptuel de données IS, AFIS mars 2005 .....	131
Figure 5.17.	Proposition pour le modèle AFIS.....	132
Figure 5.18.	Proposition pour le modèle AFIS (détaillée) .....	132
Figure 5.19.	Proposition pour le modèle AFIS.....	133
Figure 5.20.	Proposition pour le modèle AFIS.....	134
Figure 5.21.	Raffinement de la classe requirement du modèle CPM .....	134
Figure A.1.	Le marché du PLM selon la source CIMData .....	- 2 -
Figure A.2.	Les ICT dans le cycle de vie du produit .....	- 2 -
Figure A.3.	Comparaison de fournisseurs d'outils PLM .....	- 3 -
Figure A.4.	Conception du système (TOPCASED. WP1) .....	- 5 -
Figure A.5.	Définition de la solution (TOPCASED. WP1) .....	- 6 -
Figure A.6.	Représentation de la solution logique (TOPCASED. WP1) .....	- 7 -
Figure A.7.	Représentation de la solution physique (TOPCASED. WP1) .....	- 8 -
Figure A.8.	Diagramme de classes : Vue Exigences modèle de conceptuel de données IS, AFIS mars 2005	10
Figure A.9.	Diagramme de classes : Vue IVV, Modèle de conceptuel de données IS, AFIS mars 2005	11

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1.	les parties concernées par une demande de changement [ELJ-06].....	14
Tableau 4.1.	Domaine de connaissance.....	93
Tableau 4.2.	Vers une relation entre données.....	99
Tableau 5.1.	Processus de l'EIA632 qui doivent être ré-accomplis lors du CR ou d'une évolution. ....	120
Tableau 5.2.	initialisation.....	122
Tableau 5.3.	Evaluation.....	122
Tableau 5.4.	Réalisation.....	123
Tableau 5.5.	Validation.....	124
Tableau 5.6.	description.....	133
Tableau 5.7.	Description.....	133
Tableau. A.1.	Définition des classes.....	- 9 -
Tableau. A.2.	Définition des classes.....	10
Tableau. A.3.	Définition des classes.....	12





## ACRONYMES

ACV / LCA : Analyse du Cycle de Vie / LifeCycle Analysis

AFIS : Association Française d'Ingénierie Système

AFNOR : Association Française de Normalisation

BOL: Beginning of Life

CFAO: Conception et Fabrication Assistées par Ordinateur

CPM: Core Product Model

ECO: Engineering Change Order

ECR: Engineering Change Request

EIA-632: Electronic Industries Association

EOL: End-of-Life

HMS: Holonic Manufacturing Systems

IC: Ingénierie des Connaissances

ICT: Information and Communication Technology

IGES: Initial Graphic Exchange Specifications

ISO: International Organization for Standardization

KBE: Knowledge Based Engineering

MES: Système d'exécution Manufacturière

MOL: Middle-of-Life

OAM: Open Assembly Model

PLM: Product Lifecycle Management

NPD: New Product Development

RV : Requirement volatility

SGDT: Système de Gestion de Données Techniques

SIP: Système d'Information Produit

STEP: STandard for the Exchange of Product data



# **Introduction générale**

---



# Introduction Générale

---

## I NTRODUCTION GENERALE

L'évolution d'un système en termes de configuration est un phénomène naturel. Les systèmes naturels évoluent par eux mêmes pour s'adapter à leurs contextes, selon un ordre bien établi. Les systèmes artificiels suivent aussi ce besoin du changement.

Parmi les grands changements surtout dans le développement de produits, figure la durée de vie et les délais de mise sur le marché des nouveaux produits qui varient de 6 à 18 mois. Cependant, dans cette course au "juste à temps", l'objectif n'est pas toujours atteint, par exemple les derniers retards annoncés par Airbus sur le programme de gros porteur A380 en 2006 le montrent bien. L'interruption de la production au Japon de Toyota en 2007, qui a chiffré sa perte à 55.000 véhicules

[SIT-7] et Sony qui n'a pas pu sortir en novembre, mais en mars 2007 sa console PLAYSTATION 3 [SIT-8], [SIT-6], montrent également une dérive des délais.

Notre travail se focalise sur la problématique du changement. Il porte sur l'évolution des exigences dans le contexte de l'ingénierie système et plus particulièrement son impact sur le système de production manufacturière au vu de la flexibilité requise dans ce cadre.

L'évolution des exigences est un processus important qui implique la traçabilité et la gestion de configuration. Les causes de l'évolution peuvent provenir de chaque phase du développement du système depuis la capture des exigences jusqu'à la réalisation. En pratique, les parties prenantes sont les sources de changement des exigences. Une évolution des exigences peut se manifester lors de l'utilisation du système, lorsque l'utilisateur fait des recommandations ; ou bien lors de la phase de test.

Il y a deux axes majeurs dans ce genre de sujet. Le premier, porte sur la gestion du changement et ses raisons : intégration de nouvelles technologies, raison stratégique etc. Le deuxième consiste à étudier l'impact des exigences en faisant abstraction de la justification du changement. Notre travail a été orienté sur le deuxième axe qui est l'étude de l'impact du changement.

Dans le domaine de l'analyse et l'étude d'impact, il y a plusieurs axes à considérer:

- le coût,
- le changement sur le système de production,
- les systèmes support (maintenant, formation, adaptation),
- la sûreté de fonctionnement.

Le travail présenté dans cette thèse essaye d'aborder l'impact sur le système de production. Les résultats restent dans le cadre d'une approche aux systèmes de production manufacturière en s'appuyant sur l'ingénierie système et le concept PLM utilisé largement dans l'industrie comme solution technologique du point de vue informationnel. Pour cela, la thèse est structurée en cinq chapitres :

- Le premier chapitre de la thèse porte sur la problématique du changement des exigences et leurs impacts.

- Le deuxième chapitre est consacré à l'état de l'art relatif aux travaux antérieurs sur des domaines connexes et aussi aux concepts utilisés dans notre travail. Ces travaux concernent les modèles d'informations, le PLM et l'architecture des systèmes de production. une partie est consacrée à deux contributions majeures qui ont attiré notre attention, Holon et CPM
- Le troisième chapitre de la thèse concerne la première approche. Comment analyser et étudier un système de production et la fabrication d'un produit dans un cadre ingénierie système en faisant émerger les notions de système, de produit et produits supports (enabling products) ainsi que l'émergence des processus d'ingénierie.
- Le quatrième chapitre de ce mémoire présente l'extension du travail, objet du chapitre trois dans le cadre d'une norme, en l'occurrence la norme EIA 632 en insistant sur la nécessité de traçabilité étant donné que les impacts sont divers. Notons que la norme EIA-632 est la seule norme qui propose une telle structure au-delà des processus.
- Le cinquième chapitre est consacré à l'impact du changement des exigences sur le système de production et sur la possibilité d'extension aux autres produits supports (maintenance, développement du système, retrait etc...)

La structuration de ce manuscrit de thèse est illustrée par la figure I.

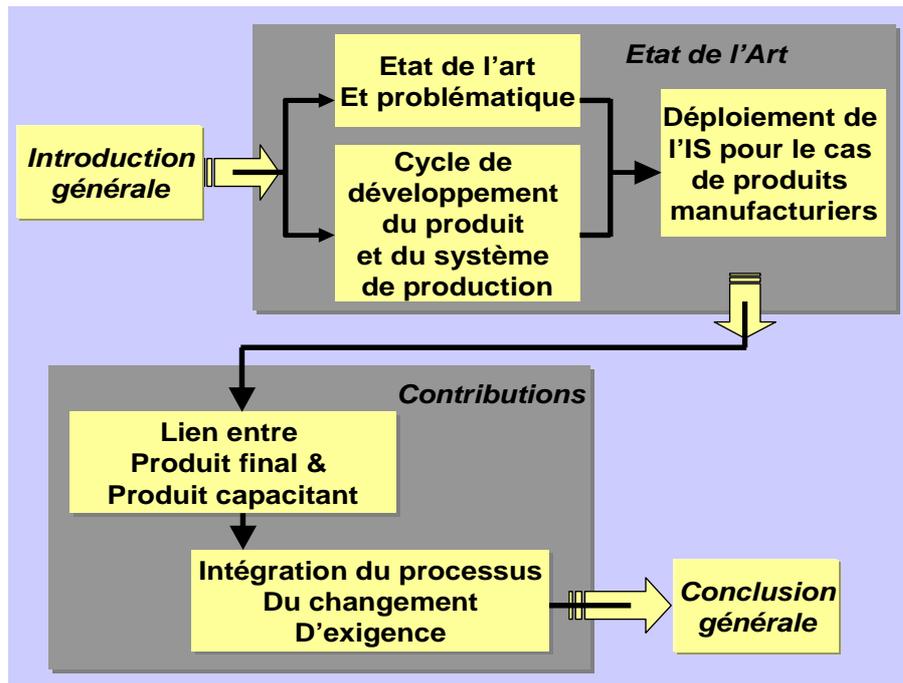


Figure.1. Structure de la thèse

# Chapitre I

---



# Chapitre 1



## **P**ROBLEMATIQUE ET ETAT DE L'ART

---

### **1. INTRODUCTION**

Les clients deviennent de plus en plus exigeants en termes de qualité des produits et des services associés. Ainsi, pour les entreprises modernes, la survie et le succès impliquent de produire le meilleur produit, au plus bas prix, juste à temps et au bon endroit ; à tel point que l'INCOSE [SIT-12] a émit le slogan « Faster, Better, and Cheaper ».

Pour répondre à ces exigences, les entreprises doivent se concentrer sur leurs propres compétences afin d'accroître leur efficacité et diminuer les points faibles.

Le cycle de vie des produits, leur production ainsi que leur gestion sont des aspects maintenant incontournables dans un environnement centré sur le produit [TER-05]. La gestion de l'information relative au produit et à sa production est une des questions majeure de l'industrie.

## **2. PRODUITS MANUFACTURIERS ET NECESSITE D'INTEGRATION DE NOUVELLES TECHNOLOGIES**

Les produits subissant des cycles de production, dits produits manufacturiers, sont produits de manière systématique et à grande échelle. Ces produits dédiés aux utilisateurs doivent satisfaire différentes exigences surtout celles du client qui demande toujours des produits de qualité et à bon prix. Cette demande induit une compétitivité entre les industriels qui doivent être toujours compétitifs.

En parallèle, des chercheurs et scientifiques tentent de trouver des solutions à différents problèmes annexes tel que la réduction des délais grâce à des techniques nouvelles tel que les algorithmes, et qui finissent par un retour aux industriels à travers des nouvelles méthodes et techniques dites souvent nouvelles technologies.

Ces nouvelles technologies contribuent souvent à différencier les industriels en termes d'efficacité. Elles leur imposent des cellules spéciales dans la quête de ces nouvelles technologies afin de les adapter à leurs processus et systèmes manufacturiers.

## **3. PROBLEMATIQUE ABORDEE**

Le développement des produits (NPD<sup>1</sup>) notamment des produits manufacturiers et la gestion de leur cycle de vie, est aujourd'hui reconnu par les entreprises comme l'enjeu majeur du début des années 2000. Il leur permet de se démarquer de leurs concurrents. Les pressions auxquelles elles doivent résister se situent dans un contexte de maîtrise des coûts, de la qualité et des ressources, ce qui nécessite l'intégration et l'adaptation des technologies nouvelles afin de maintenir leur avance.

Cette adaptation va nécessairement tenir compte des cycles de développement des produits. Dans ce contexte, la mise en œuvre de systèmes d'information centrés

---

<sup>1</sup> NPD: New Product Development

sur le produit, via des approches de type PLM<sup>2</sup> cherche une meilleure fluidité du processus de conception et favorise le travail collaboratif entre les acteurs [CHA-03].

### 3.1. L'EVOLUTION DU SYSTEME

Le 19e siècle a été marqué par une importante réorganisation du travail. Plutôt que de fabriquer des chaussures une à une de façon artisanale, les industriels ont inventé des machines qui pouvaient les reproduire en grande quantité.

A l'aube du 21e siècle, la technologie domine nos vies et son évolution nous semble effrénée. Après l'ère industrielle, les milieux du travail sont envahis par l'informatique et les ordinateurs sont présents partout. Alors, nous avons pu constater comment la société a profité des nouvelles technologies et comment elles ont changé et fait évoluer la société. [ELJ-06]

La complémentarité entre la société et la technologie intervient de différentes manières : l'évolution des idées, l'apparition des nouvelles technologies qui amènent à d'autres technologies, l'évolution des productions manuelles vers des systèmes automatisés. Cette intervention oblige les industriels à répondre aux demandes de la société en faisant évoluer leurs systèmes existants.

En effet, lorsque les parties prenantes demandent l'application d'une modification soit sur un système actuel soit durant son cycle de développement, leur but est toujours de faire évoluer l'ensemble des fonctionnalités actuelles du système, ou de diminuer le coût du développement du système durant son cycle de vie. Mais avant de faire évoluer le système, il faut répondre aux questions suivantes : Quel est le type de l'évolution? A quel niveau faut-il l'appliquer? Est-ce que cette évolution affecte la qualité du produit ? Quelle était l'ancienne fonctionnalité du système ?

Certains développeurs figent les exigences du système qu'ils veulent développer, en n'appliquant aucune évolution, vu que leurs projets ne supportent pas une méthodologie d'application d'une évolution au cours du développement du système. Mais figer les exigences et ne pas accepter l'application de modifications a un effet négatif sur le succès des projets. En effet, dans ce cas les développeurs réalisent un système qui ne correspond pas aux besoins.

---

<sup>2</sup> PLM: Product Life cycle Management

## 3.2. CHANGEMENT DES EXIGENCES

Le développement de systèmes complexes nécessite une période de temps considérable, durant laquelle plusieurs demandes d'évolutions apparaissent. Généralement, une évolution existe dans deux cas : lors de la mise à jour du système et lors de l'émergence d'une nouvelle technologie [ELJ-05a].

### 3.2.1. Volatilité des exigences (RV)

L'évolution du système amène souvent à une volatilité des exigences<sup>3</sup> (RV). La diminution du taux de la volatilité des exigences est d'une importance primordiale pour les industriels [ELJ-06]. En effet, la volatilité a un effet négatif sur le succès du projet étant donné qu'elle entraîne de nombreuses modifications. Une modification d'exigence peut être : l'ajout, la suppression, ou les deux ensemble. Plusieurs facteurs affectent la volatilité des exigences [RUS-04] : changement d'une exigence, changement de sa priorité, changement de technologie, le conflit d'exigences, changement d'environnement ou complexité du système.

Durant la phase d'élicitation des exigences<sup>4</sup>, les émetteurs de ces exigences communiquent avec l'analyste selon plusieurs méthodes [COU-07]. Ils utilisent les voies de l'écrit (texte, images, figures, mails) ainsi de l'oral (conversation, réunion, questionnaires, interviews, observation, brainstorming, etc.). Mais, derrière les mots se cachent des significations qui doivent être identiques entre les émetteurs et les acquéreurs. L'émetteur d'exigences comprend nécessairement les exigences qu'il propose, ce qui n'est pas forcément le cas de l'acquéreur. Parfois, les émetteurs sous-estiment des exigences, ce qui oblige les acquéreurs à apporter des modifications sur le système, afin de respecter le budget précisé. Ce genre d'exigences retardées doit être traité obligatoirement durant le cycle de vie du système. En effet, trois causes sont à l'origine des exigences retardées :

- L'erreur d'élicitation des exigences,

---

<sup>3</sup> La volatilité des exigences (RV) est la mesure de l'instabilité des exigences. Nous la définissons comme : la tendance des exigences à changer dans le temps pour répondre à l'évolution des besoins des clients, des parties prenantes, organisation et environnement de travail.

<sup>4</sup> L'élicitation consiste à rassembler toutes les informations et exigences pertinentes pour l'application à développer le système.

- L'erreur de représentation ou de modélisation des exigences,
- L'erreur de compréhension d'exigence.

Ces exigences retardées expliquent parfois l'existence d'une volatilité. En réalité des études basées sur le développement des logiciels et des systèmes d'informations [KRA-89] [BOH-91] font remarquer qu'il existe toujours une volatilité d'exigences durant leur développement. Cette volatilité apparaît systématiquement car le développement de logiciels commence toujours par un ensemble d'exigences floues, incomplètes et mal définies [KRA-89].

Dans les sous chapitres qui suivent, nous abordons l'effet de la volatilité des exigences, une étude statistique sur la volatilité et enfin la volatilité et la densité de défaut.

### 3.2.2. L'effet de la volatilité des exigences

Les études précédentes se sont penchées sur l'étude de l'impact de la volatilité des exigences sur la productivité des logiciels [LAN-98] [BOH-96a]. Le travail présenté dans [ZOW-02] était destiné à décrire leurs constatations d'après une étude empirique sur la volatilité des exigences, dans le but de présenter l'impact de la volatilité sur les performances des projets. Les auteurs ont trouvé que la volatilité a toujours un impact sur le coût et les délais.

Le but de leur étude était d'examiner les effets de la volatilité, en développant un modèle théorique qui aide à étudier l'impact de la volatilité, améliore la pratique de l'ingénierie d'exigences afin de contrôler la volatilité et réduit les effets négatifs de la volatilité sur la performance du projet. D'après cette étude, trois sources majeures expliquent la volatilité:

- le potentiel de changement (changement d'environnement),
- l'instabilité des exigences (la variation d'exigences des utilisateurs),
- la diversité des exigences (les parties prenantes ne sont pas en accord).

### 3.2.3. Etude statistique sur la volatilité

Une étude a été effectuée sur la volatilité durant le développement d'un logiciel (16 mois) [NUR-04]. Le nombre total des changements durant le développement du système étaient de 78 demandes. Les auteurs ont montré que le pourcentage de la

volatilité des exigences augmente lorsque les demandes de changement augmentent brusquement à la fin de la phase de l'analyse des exigences et au début de la phase de conception.

### 3.2.4. Volatilité et densité de défaut

Dans un cas idéal, les exigences pour le développement d'un logiciel doivent être complètes, sans ambiguïté, bien déterminées avant la conception, et surtout avant la réalisation. Souvent, il y a une obligation à modifier quelques exigences ce qui affecte l'augmentation de la densité de défaut du système.

Malaiya et Denton [MAL-98], présentent l'influence du changement des exigences durant le cycle de développement des logiciels et présentent l'influence au moment où nous effectuons la modification. Ils montrent que la densité de défauts n'est pas la même suivant qu'une modification d'une exigence intervient en début ou en fin de cycle de développement. Leurs travaux l'écart entre les densités de défaut de deux projets différents, l'un avec des exigences non ambiguës et l'autre non [CAR-04].

### 3.2.5. Le coût d'une correction

Les exigences sont la base de presque toutes les activités du développement des systèmes. Elles sont comme les plans d'un architecte de bâtiment: la moindre erreur dans les plans, engendre une construction mal faite.

La construction des bâtiments, est un exemple parmi un ensemble de systèmes complexes ayant une longue durée de vie. Dans l'industrie, le développement des systèmes est partagé en plusieurs projets. Chaque projet conduit à un produit différent des autres : Il emploie différentes technologies et résout différents problèmes avec différentes phases de temps et un ensemble de personnes effectuant le travail.

Pour la plupart des projets, la moitié des erreurs sont des erreurs dont l'origine remonte à la phase d'élicitation des exigences. La corrélation entre coût de correction et pourcentage de génération d'erreurs nous montre que, plus les modifications seront dans la phase d'initialisation du projet (élicitation, analyse d'exigences, etc....) plus le coût et le temps d'accomplir le projet sont réduits. Cela montre bien que les exigences ont un rôle crucial durant le processus de développement.

Malheureusement, de nombreux projets sont accélérés au début du développement des systèmes afin de « gagner en temps ». L'expression des exigences en souffre et conduit à des systèmes défectueux, et des coûts d'entretien élevés, durant les phases suivantes. Au cours des projets, l'existence de la volatilité d'exigences, les erreurs et l'intégration des nouvelles technologies ont obligé les parties prenantes à élaborer des techniques pour évaluer leur impact. Ce dernier se situe au niveau :

- du coût,
- des délais,
- des performances (sécurité par exemple)
- des systèmes connexes (Production, maintenance, etc.)

L'analyse du type d'impact exige des statistiques, des estimations et de l'expertise de la part des développeurs.

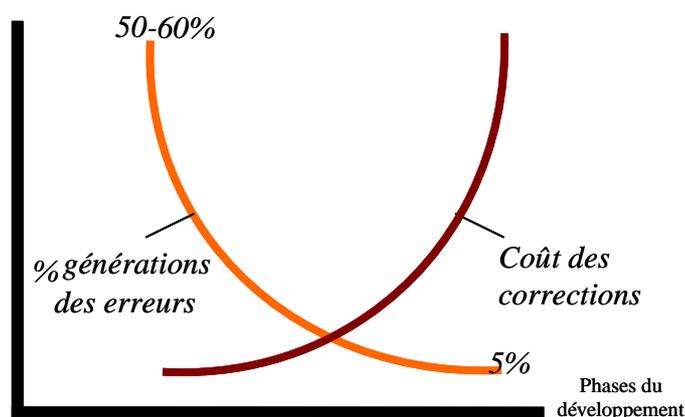


Figure 1.1. coût de correction durant le développement

Enfin, l'augmentation du coût de la correction des erreurs au cours du développement du système et la volatilité des exigences nous conduisent à orienter notre travail dans le contexte de l'ingénierie système et de l'ingénierie des exigences [JUR-02].

### 3.2.6. Impact du changement des exigences

Une enquête récente, réalisée par le Customer Focus Group (CFS) [GRO-Foc] dans le domaine de la fabrication des avions, présente comment les commerçants s'intéressent à l'intégration de nouvelles technologies, plutôt que d'intégrer d'autres qui pourraient avoir plus d'avantages, mais n'assurent pas d'autres exigences importantes comme la sécurité par exemple.

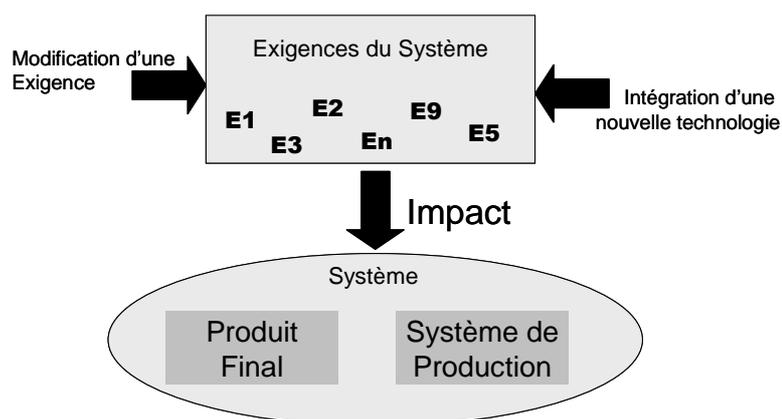


Figure 1.2. Impact du changement sur le système

Cette même enquête présente comment une nouvelle technologie qui n'affecte pas la performance dans un domaine peut avoir un impact sur la performance dans un autre. [ELJ-06b]

En fait, au cours du développement du système suite à de nouvelles exigences de l'éventuelle version du produit. La prise en considération de l'impact des nouvelles exigences (changement des exigences produit) améliore les performances de développement sûr. C'est la raison pour laquelle nous l'intégrons dans le PLM afin d'évaluer l'impact d'une nouvelle exigence ou le changement des exigences du produit sur son système de production. De plus, nous l'envisageons dans un environnement collaboratif.

### 3.3. SYSTEME D'INFORMATION (SI)

Les SI constituent un enjeu stratégique important pour les dirigeants des organisations. Leur rôle est d'offrir une adaptation de l'entreprise à son environnement.

Notre intérêt dans les systèmes d'information est de fournir des stratégies d'échange, de partage et d'intégration des processus techniques en entreprise. Aussi parmi les problèmes des systèmes d'informations dans l'entreprise manufacturière,

celui de l'interopérabilité [PAN-06], but central d'un large nombre de projets et qui subsiste toujours mais ne sera pas abordé dans ce manuscrit.

Dans le contexte de la stratégie pour organisateurs, nous présentons les principales phases du cycle de vie d'une demande de changement. En effet, le cycle de vie d'une modification est formé de quatre phases.

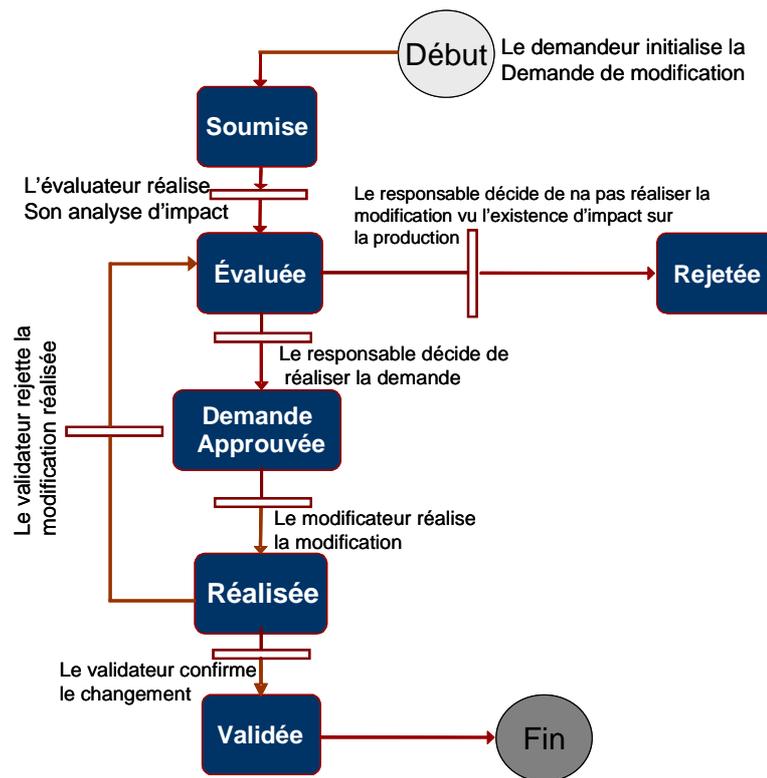


Figure 1.3. Le diagramme états transitions pour la demande de changement [ELJ-06].

Cependant, une modification passe par six états, (cf. figure 1.5) : une modification soumise, une modification évaluée, une modification rejetée, une modification approuvée, une modification réalisée et une modification validée [ELJ-06].

Le tableau 1.1 montre les rôles des personnages liés à une modification tout le long de son cycle de vie. Lors de la demande d'un changement, il faut exécuter au début le processus de l'initialisation, après cette exécution l'état de la demande de modification devient Soumis. Puis, après la soumission il y aura une intervention de la

part du vérificateur pour qu'il vérifie tout type d'impact. Cependant, il nous intéresse de vérifier l'impact sur la production. Après cette étape, l'état de la modification devient évaluée.

Tableau 1.1. les parties concernées par une demande de changement [ELJ-06].

<b>Rôle</b>	<b>Description et responsabilité</b>
Demandeur	Personne qui soumet la demande d'évolution.
Evaluateur	La personne commanditée par le gestionnaire de projet pour analyser l'impact de l'évolution proposée.
Responsable	Le groupe qui décide d'approuver ou de rejeter les évolutions proposées sur un projet spécifique.
Modificateur	Personne responsable des évolutions sur le produit en cours, en réponse à une demande d'évolution approuvée, met à jour le statut de la demande après coup.
validateur	La personne qui détermine si les modifications ont été correctement réalisées.

Après la vérification, les parties prenantes de la demande de modification (responsable) vont décider si la demande sera rejetée ou approuvée. Enfin, dans le cas où la demande sera approuvée, la modification sera intégrée au cours du développement du système pour qu'elle soit réalisée par un réalisateur puis validée par un validateur.

## 4. ETAT DE L'ART

Très peu de travaux ont été réalisés dans le domaine de l'intégration de nouvelles technologies dans le développement de produits manufacturiers. Citons l'exemple de [ELJ-06] qui s'est intéressé à l'étude de l'impact du changement des exigences sur la sécurité du système.

Alors que dans ce travail, nous allons nous intéresser plutôt à l'impact du changement du produit sur son système de production. Il faut souligner que le changement affecte non seulement le système de production mais aussi la maintenance, quand on dit maintenance cela implique celle du produit et celle du système de production. Cette propagation de l'impact devient considérable surtout pour des produits complexes et où l'impact n'est pas évident du fait que les parties touchées par le changement n'ont pas de lien direct.

Cela nous a mené à traiter le problème à partir des sources du changement. Donc commencer par voir le problème à travers une étude sur les normes et sur l'ingénierie système qui est utilisée comme approche pour les systèmes complexes. Notre étude sera illustrée par une étude de cas, dans laquelle on présentera la démarche.

Étant donné qu'une norme ne peut pas couvrir tout le cycle de vie à elle seule, nous allons parcourir l'état de l'art et aborder les normes à travers le cycle de vie du produit et leur interopérabilité (en termes de processus).

## **4.1. NORMES DANS L'INDUSTRIE**

Généralement, les normes sont développées afin de fournir des moyens et des technologies pour intégrer le logiciel de gestion d'entreprise. Selon [BUS-03], deux principales catégories de normes existent : les normes de portabilité (qui permettent à un programme exécutable de fonctionner dans des systèmes de différents contextes) et les normes d'interopérabilité (qui permettent à un programme de communiquer avec un autre indépendamment de son implémentation ou technologie).

Pour réaliser un système de support pour le PLM nous avons besoin de passer de l'échange de données de produit à l'échange de l'information de produit et éventuellement poursuivre par l'échange de la connaissance de produit (Product knowledge exchange). Dans un avenir proche, les e-marchés échangeront le produit de conception et la connaissance de processus à travers le Web, ce qui nécessite le besoin de l'interopérabilité syntaxique et sémantique de divers systèmes. Avec cet objectif, les travaux de [SUB-05] ont défini une typologie de normes appropriées au support du PLM.

### **4.1.1. NORMES POUR LES CADRES ARCHITECTURAUX**

Afin d'atteindre l'objectif d'une interopérabilité complète pour le PLM, il est impératif que les différents types de normes utilisées soient cohérents et convergent. En termes d'intégration des types de normes décrites (cf. figure 1.7), nous devons prendre en compte les cadres architecturaux pour créer des perspectives intégrées de système de support du PLM.

#### 4.1.2. NORMES DE CONTENU

Des normes telles que STEP ont été orientées vers un type particulier de contenu ; dans ce cas, le contenu est la structure du produit, la géométrie et l'information sur les parties connexes. Le modèle d'information pour la fonction, l'assemblage et le comportement est critique dans le développement conceptuel d'un produit et de son évaluation. Le travail du groupe NIST [FEN-05, FOU-05] sur un modèle de produit de noyau et sa prolongation à un modèle d'assemblage peuvent servir de principes d'organisation aux normes qui peuvent émerger dans ce secteur. Un effort semblable est le projet MOKA (méthodologie et outils orientés à applications basées sur la connaissance de technologie). Le langage de modélisation MOKA est basé sur UML et est conçu pour représenter la connaissance d'étude au niveau de l'utilisateur pour le déploiement dans des applications basées sur la connaissance de la technologie (KBE) [SUB-05].

SysML est un langage orienté vers le domaine spécifique de l'ingénierie des systèmes. SysML est dérivé d'UML pour couvrir les besoins, la structure, le comportement, les paramètres, et la relation de comportement. SysML réutilise un sous-ensemble de diagrammes UML 2.0 et offre quelques nouvelles constructions de diagrammes de modélisation système tel que le « requirement diagram ».

#### 4.1.3. NORMES DE MODELISATION DE L'INFORMATION

Les premiers exemples de normes de modélisation de l'information sont Express, RDF, OWL et UML. Ces consortiums industriels, les organisations de norme, et les fournisseurs de logiciels ont créé diverses normes telles que l'ebXML, BizTalk, cXML, CML (Chemical Markup Language), Bioinformatics Sequence Markup Language (BSML), MathML, MatML, etc, qui définissent principalement le vocabulaire XML dans des domaines spécifiques [SUB-05].

Des exemples de norme d'échange de l'information sont EDI, XML, SOAP et d'autres normes spécialisées dans l'échange des données et de l'information.

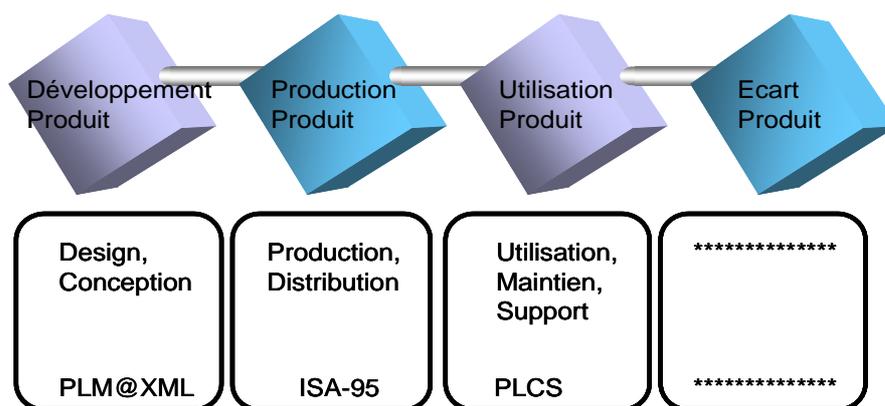


Figure 1.4. la norme PLM-XML dans le Cycle de vie du Produit

Les versions spécialisées de ces normes sont :

- STEPml, une bibliothèque des spécifications de XML basée sur les modèles de contenu de la norme STEP;
- le (PDML) est développé en tant qu'élément du projet de l'interopérabilité de données de produit (PDI) sous le patronage de (JEPCO) ;

PLM XML (cf. figure 1.4), constitue un ensemble de schémas de XML servant de protocole de transport ; et BPML (business process modeling language), représente un métalangage pour la modélisation des processus d'affaires [SUB-05].

## 4.2. INTEROPERABILITE ENTRE NORMES

L'interopérabilité est souvent évoquée quand on s'intéresse aux domaines d' e-business, l'entreprise en réseau, les approches de collaboration et d'intégration ainsi que les architectures orientées services ou multi-agents. Le domaine d'application de l'interopérabilité se caractérise par les outils tels que l'ERP, SCM, PLM,...

On trouve trois grands axes de recherche sur le domaine de l'interopérabilité :

- La modélisation de l'entreprise : elle s'intéresse à la représentation de l'entreprise en réseau afin de mettre en évidence les besoins en interopérabilité.
- Les architectures et les plateformes : elles définissent les solutions à implémenter afin d'atteindre l'interopérabilité.

- Les ontologies : elles adressent le besoin en sémantique pour assurer l'interopérabilité.

#### 4.2.1. DEFINITIONS DE L'INTEROPERABILITE

L'interopérabilité se base sur le principe de la réversibilité. En effet, même si l'implémentation de l'interopérabilité entre des partenaires passe par une adaptation ou une modification des systèmes, ces systèmes sont capables de retrouver leur état initial à la fin de la phase de l'interopération.

Par rapport aux concepts de collaboration, l'interopérabilité ne vise pas des objectifs ou des missions métiers et ne résout pas des problèmes métiers. Deux entreprises interopérables peuvent ne pas avoir de projet collaboratif, et deux entreprises en collaboration peuvent avoir de sérieux problèmes d'interopérabilité.

Au sens normes, l'interopérabilité est définie par l'habilité d'interagir entre les normes entreprises (ou une partie). L'interopérabilité d'une norme est réalisable si l'interaction est possible au niveau processus. Cela peut se voir à travers l'entreprise, qui traduit l'interopérabilité à trois niveaux au moins : données, application et processus métiers avec une prise en considération de l'aspect sémantique à chaque niveau.

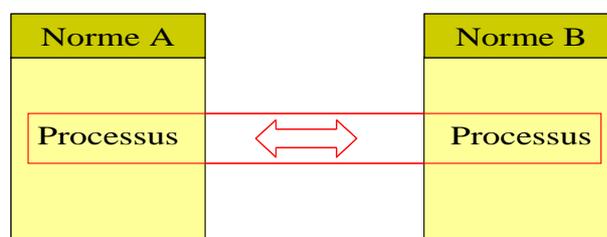


Figure 1.5. Interopérabilité entre les normes

Comme le montre, la figure (cf. figure 1.5) l'interopérabilité entre normes se traduit par l'appel d'une norme à une autre au travers de ses processus.

#### 4.2.2. CONCEPTS DE L'INTEROPERABILITE

L'existence de différents systèmes dans une entreprise implique des recherches sur l'interopérabilité. En effet, l'interopérabilité se trouve aujourd'hui contrainte à l'incompatibilité des différents niveaux d'une entreprise. Pour atténuer ces contraintes, il faudra chercher des solutions pour l'interopérabilité au travers des normes. Du point de vue entreprise, l'interopérabilité passe par trois étapes : identifier

le besoin en interopérabilité, identifier les obstacles qui empêchent de l'accomplir et enfin développer les approches fondamentales pour atténuer et envelopper ces barrières.

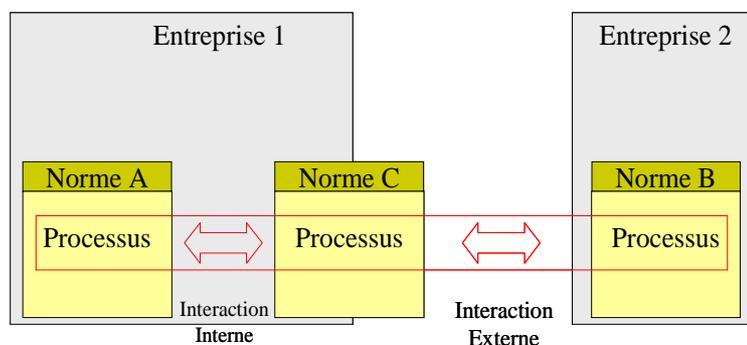


Figure 1.6. Interaction entre normes

Dans les travaux de [CLU-07], le besoin en interopérabilité est présenté sur quatre niveaux : données, services, processus et métier. Ce besoin est exprimé tant en intra-entreprise que pour l'interentreprises.

Assurer l'interopérabilité technique conduit à respecter un certain nombre de normes d'interfaces. Ces documents techniques définissent des exigences, parfois accompagnées de recommandations optionnelles. Si la norme est correctement écrite, deux systèmes qui satisfont à ces exigences dans la manière dont fonctionnent leurs interfaces, peuvent dialoguer sans problème.

Aussi l'interopérabilité au niveau des métiers, c'est acquérir la capacité à connecter, tant en interne à l'entreprise qu'en externe avec ses partenaires, les différentes spécifications métiers. Cette connexion doit se faire indépendamment de la vision interne d'une entreprise, de ses modèles métiers, de ses modes de décisions et de ses bonnes pratiques. Ceci facilite le développement et le partage des spécifications métiers entre les compagnies [CLU-07] et surtout la collaboration.

Un processus est défini par une séquence de services (fonctions) pour répondre à un besoin spécifique de l'entreprise. Généralement, ces processus évoluent en interaction (en série ou en parallèle). Dans un contexte inter-entreprise, il faut étudier comment connecter des processus internes et créer de nouveaux processus en commun. L'interopérabilité inclut des mécanismes pour lier les langages de description des processus (les standards de workflow), des processus distribués et décentralisés ainsi que leur formation et vérification.

### 4.2.3. LES DONNEES PRODUIT DANS LE PLM

La gestion des données techniques dans un environnement PLM implique : la gestion des liasses de documents, la gestion des modèles numériques (2D, 3D, simulation,...) et le support du processus collaboratif dans un environnement distribué. Ce dernier point repose sur le contrôle d'accès concurrents (check-in, check-out), les vues multi arborescentes de la structure produit, la gestion des configurations et des modifications ainsi que l'architecture distribuée basée sur le Web.

La question qui se pose est la suivante: comment fédérer tous les acteurs de l'entreprise virtuelle? : Intégrateur, partenaires partageants les risques, équipementiers, sous-traitants de rang 1, 2, ... Les besoins d'interopérabilité se situent à trois niveaux: échange et partage des données produits gérées par le PDM, interconnexions des workflow, et gestion de la cohérence des données.

EADS a présenté une classification des normes d'échanges (SE): SE Process (EIA632, CMI I, Urbanism, IEE1220, ISO 15288...), SE Framework (FEAF, MODAF, Zackman, DODAF,...), SE Modelling Process (OOSE, MOA, SADT, ...) SE Modelling Language & Simulation (UMS/ SysML, IDEF, HLA, ...) Interchange & Sharing Standards (MOF/ XMI, STEP/ AP233, CADM, WfMC, CORBA/DSSV2, STEP SDAI). On constate que les échanges entre acteurs de l'entreprise étendue s'organisent : modèle en étoile versus modèle point à point , approche mixant l'utilisation de normes, de spécialisation sectorielle et de spécialisation opérationnelle, développement d'organisations en réseau (AFNET, GALIA) . Les initiatives visant à proposer un cadre formalisé d'échanges se développent, comme par exemple, le projet ATHENA [FIG-05].

### 4.2.4. CLASSIFICATION DES NORMES

Il convient de différencier une norme d'un standard de fait produit par un groupe d'industriels. La norme est établie par un organisme indépendant en l'occurrence l'AFNOR (Association française de normalisation) pour la France et l'ISO pour le monde. Une norme de fait peut être propriété d'un industriel tandis qu'une norme vise à ne pas l'être. La tentation des industriels d'imposer leurs normes de fait comme normes internationales est omniprésente car les enjeux commerciaux sont considérables : la décision de transformer un standard de fait en norme d'interface

s'effectue sous la pression des grands utilisateurs ayant acheté en majorité un équipement estimé plus performant en regard des exigences opérationnelles, ce qui donne une prééminence commerciale aux industriels propriétaires de ces standards. Les consortiums d'industriels se constituent dans le but d'un consensus entre eux et préparer ainsi les standards d'interfaces. L'Open Mobile Alliance (OMA), regroupant 380 membres spécialisés en solution de mobilité, a établi une liste de dix nouveaux standards prévus pour faciliter l'interopérabilité entre les différents terminaux mobiles (téléphones portables, smart phones, PDA ...).

Par opposition à ces consortiums d'industriels, notons le rôle du W3C (World Wide Web Consortium) qui rédige des standards de fait ouverts et gratuits (comme par exemple, http, html, XML). Comme l'IETF, ISOC, OASIS, le W3C a un processus collaboratif de rédaction des standards [PAT-05]. Ceux ci sont d'abord publiés, parfois à l'état de brouillon. Les essais d'implémentation permettent d'en trouver les failles et d'en corriger les défauts avant qu'ils ne deviennent des recommandations officielles. Chacun a la possibilité d'étudier ces documents et de tenter de développer un système conforme à ces spécifications. De plus, le fait que la rédaction soit relativement ouverte à la communauté évite de voir publiés des standards qui ne satisfont qu'une minorité qui détiendrait un pouvoir de décision sur leur contenu.

Les normes ouvertes peuvent ainsi favoriser une répartition plus équitable des compétences, participer au rééquilibrage des rapports de force dans les flux de communication et être un des éléments clés des dispositifs de biens publics à l'échelle mondiale [ARN-04].

**Les normes ouvertes** se rapportent à un accord fait, afin de permettre aux produits et systèmes réalisés par différentes parties de collaborer. Les normes ouvertes ne sont pas des applications de logiciel ; c'est seulement des spécifications expliquant comment l'information devrait être vue. Les normes ouvertes sont développées par des consensus dans des groupes d'intérêt [SRI-05]. Il y a d'énormes variations des règles et des processus d'adhésion pour ces organismes de normalisation. Ils s'étendent à des organismes internationaux officiels tels que l'ISO et ainsi qu'à de petits groupes d'industrie.

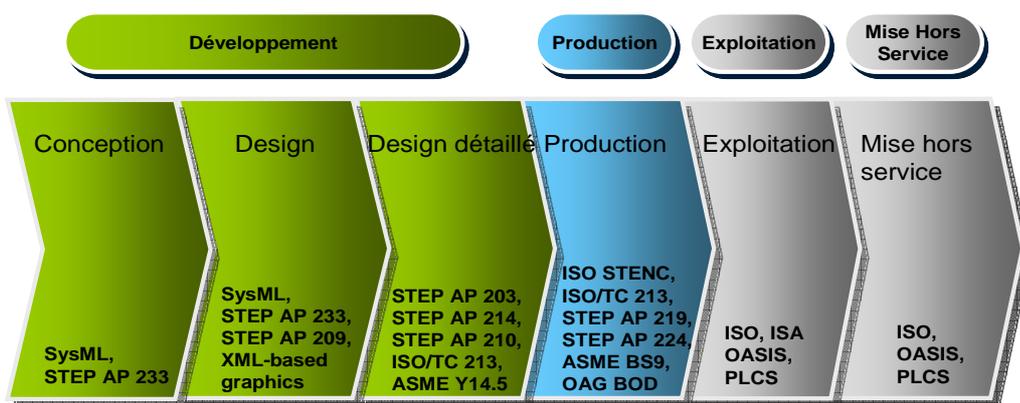


Figure 1.7. Normes Ouvertes du PLM

Dans le domaine du PLM, STEP est un exemple de norme ouverte. Elle est développée par ISO, avec l'aide des consortiums industriels tels que PDES, inc. et ProSTEP. XML (Extensible Markup Language) et UML (unified modeling language) sont également des normes ouvertes (cf. figure 1.7). XML a été développé par le consortium mondial du Web (W3C). Par contre UML a été développé par le groupe (OMG). La norme de W3C's XML est un sous-ensemble du SGML de l'ISO. De même, l'UML de l'ISO est basé sur une version récente de l'UML de l'OMG [PAT-05, SRI-05].

**Les normes d'industrie** sont des technologies souvent utilisées, mais ne sont pas ouvertes ou démocratiquement contrôlées par un groupe d'utilisateurs. Java est un exemple bien connu de norme d'industrie. Il y a un certain nombre de compagnies impliquées dans le développement du langage Java, mais vu qu'une compagnie contrôle la majorité des processus du développement de normes, Java est classifiée comme norme d'industrie, et non une norme ouverte.

**Les normes de fait** sont largement utilisées, et ce, en raison de leur valeur ou leur association à d'autres technologies, mais pas nécessairement parce qu'elles ont été produites par un organisme de normalisation. Un logiciel commercial peut être une norme de fait en raison de son adoption par le plus grand nombre. Actuellement, le logiciel d'exploitation Windows de Microsoft est une norme de fait pour les PC [SRI-05]. Le protocole (SOAP) était au commencement une norme de fait, en raison de sa large utilisation dans les services Web, bien qu'il soit maintenant formalisé comme norme ouverte par le W3C. Le statut norme de fait ne signifie pas qu'il n'y a aucune

solution de rechange à une technologie particulière ; de telles solutions de rechange sont assurément beaucoup moins employées à cet instant-là.

Cette classification n'adresse pas les logiciels (open source), qui sont régi par un ensemble de règles séparées.

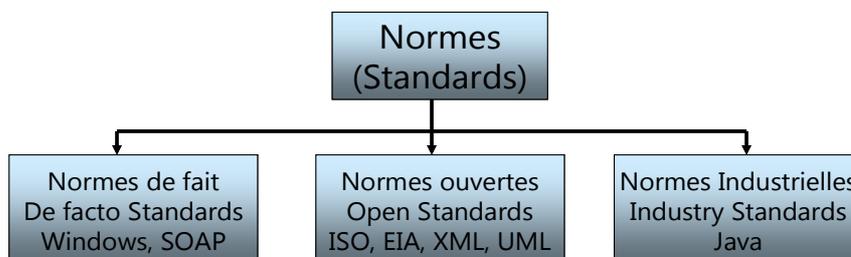


Figure 1.8. Trois classes de normes

La tendance normale des fournisseurs de logiciel PLM est de faire de leur produit une norme de fait ; ceci leur permettra de contrôler le contenu et le prix de leurs produits. D'autre part, Les clients optent pour des normes ouvertes ; ce qui leur permet une liberté de choix et de flexibilité. Cette tension n'est pas susceptible de disparaître de si tôt, elle doit être traitée comme étant une partie du processus de standardisation dans l'industrie [SRI-05].

#### 4.2.5. DEVELOPPER UN NOUVEAU STANDARD ?

Le besoin de nouvelles normes est devenu évident depuis que l'industrie est entrée dans l'âge de l'information. Certaines de ces nouvelles normes se sont concentrées sur des formats et des protocoles normalisés, tandis que d'autres ont dû s'adapter à une sémantique totalement nouvelle [SRI-05].

Les tentatives pour la capture des images bidimensionnelles et l'information géométrique ont eu comme conséquence les formats tels que GIF (format graphique d'échange), post-script et son successeur PDF (format de document portatif), qui couvrent les domaines qui sont plus grands que la technologie et donc intéressant. Ce sont des normes de fait. Quand les algorithmes de compression utilisés dans le GIF ont été menacés au milieu des années 90 par la contrefaçon, il y a eu l'effort de créer un algorithme ouvert et redevance-libre de compression inclus dans un nouveau format appelé PNG (P Network Graphic), qui est devenu une norme d'ISO/IEC en 2003 et est largement soutenu [SRI-05].

Un des résultats des efforts de STEP est la représentation normalisée de contours des solides. Il n'y avait aucun besoin d'une telle norme avant DAO et la modélisation de contour plein a acquis une popularité dans l'industrie. La représentation de frontière est traitée comme instanciation d'un modèle géométrique. Pendant que les ingénieurs commençaient à employer la DAO, ils ont constaté qu'ils pouvaient faire beaucoup plus. Par exemple, ils pourraient modéliser les paramètres géométriques, qui augmenteront leur productivité. [SRI-05] Ceci a incité de nouveaux efforts pour normaliser la représentation paramétrique des modèles géométriques. Une nouvelle norme STEP a été juste publiée dans ce sens [PRA-04]. De telles normes forment les ressources de base dans STEP, sur laquelle d'autres normes de protocole d'application telles que AP 203 et AP 214 ont été établies.

Il est possible maintenant de rassembler la grande quantité de données et le défi est de ramener ceci à une information significative qui peut être utilisée pour l'inspection et l'essai. Ainsi une nouvelle discipline appelée la métrologie informatique a émergé pour relever ce défi.

Les nouvelles normes telles que (STEP, ISO, AP, GIF, PDF...) fournissent la sémantique nécessaire au PLM. Celles-ci ne représentent qu'une partie des nouveaux développements. En outre, les langages tels que XML et UML fournissent de riches environnements syntaxiques normalisés pour la capture de la sémantique du PLM. Une extension d'UML, SysML, est développée pour la capture de l'information de l'ingénierie système de manière normalisée.

## **5. CONCLUSION**

Dans ce chapitre nous avons parcouru la littérature et l'évolution permanente des systèmes.

Ensuite nous avons présenté que la majorité des travaux ont porté sur des études statistiques pour l'analyse de l'évolution (changement), en élaborant des études sur les causes et les effets de la volatilité. Dans la deuxième partie, nous avons présenté notre contexte d'étude : l'ingénierie des exigences où nous avons présenté ses objectifs, en présentant le processus : d'identification des parties prenantes, d'élicitation des exigences, d'analyse des exigences, de formalisation des exigences, de vérification et de validation pour les exigences, et de modification des exigences.

Une deuxième partie dans ce chapitre, se rapporte aux différentes normes utilisées dans l'industrie, ainsi que l'interopérabilité entre ces normes, afin de mieux étudier les moyens de communications qui peuvent rendre transparent l'échange et le partage des informations entre partenaires.

Dans notre travail, nous ferons abstraction de l'échange de données et de la manière dont il est réalisé. Nous nous dirigeons plutôt vers une démarche qui s'appuie sur une norme bien définie.

Le chapitre suivant aborde le besoin de modèles de produit. Il présente également les efforts et travaux fournis, dans le but d'offrir des modèles de produits en tenant compte du cycle de vie.



# Chapitre II

---



# Chapitre 2



## CYCLE DE DEVELOPPEMENT DU PRODUIT ET DU SYSTEME DE PRODUCTION

### 1. INTRODUCTION

Améliorer l'efficacité des développements de produits présente un enjeu majeur pour les entreprises manufacturières. La coordination des développements conjoints des produits et des systèmes qui leurs sont associés, notamment les systèmes de production, est importante.

Plusieurs procédés de fabrication sont possibles pour un même produit, selon le lieu où il est fabriqué. Il est également nécessaire de réutiliser des équipements de

production pour réduire les coûts de mise en production (ex. automobile : la même chaîne pour différentes voitures). En conséquence, savoir quel sera l'impact d'une modification sur la production s'avère une tâche longue et complexe mais cruciale [MES-07a].

## 2. CYCLE DE VIE DU PRODUIT

Le produit devient de plus en plus complexe. Tous les processus liés au produit s'accroissent, et constituent un cycle compliqué. Ce cycle commence l'étude des marchés, se poursuit à travers le produit et la conception de processus et va jusqu'à la gestion de la distribution.

Toutes les activités exécutées le long de la « ligne produit » doivent être coordonnées et gérées efficacement, afin de gagner en temps et réduire les redondances. Pour réaliser une telle coordination, l'ingénierie de produit et la fabrication manufacturière deviennent des processus intégrés et permettent la communication entre méthodes, outils et environnements.

Cette partie propose une description du cycle de vie du produit et de ses phases.

### 2.1. PHASES DU CYCLE DE VIE DU PRODUIT

Généralement, le « cycle de vie » indique l'ensemble des phases qui pourraient être identifiées en tant qu' « étapes » de la vie d'un produit. Ces étapes sont : la conceptualisation, la conception, la planification de la fabrication, la production, la distribution, l'utilisation, la mise à l'écart et la réutilisation.

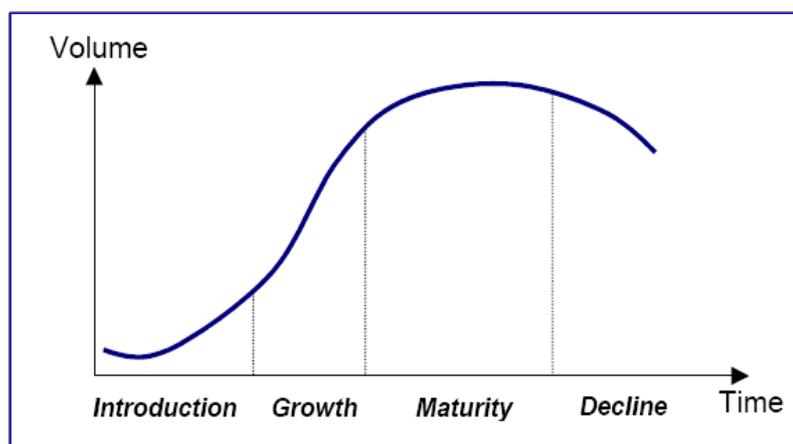


Figure 2.1. Les phases du cycle de vie du produit dans le marché [TER-05]

On pourrait dire qu'en littérature, l'identification de ces étapes (phases) de cycle de vie du produit indique au moins le domaine de deux forces d'analyse : (i) le domaine de phases de cycle de vie du produit dans le marché, et (ii) le domaine des phases de cycle de vie du produit qui tiennent compte de la vie physique d'un produit. [TER-05]

D'où les études faites sur le modèle de cycle de vie du produit qui décrit comment un produit « vit » sur le marché (cf. Figure 2.1) en termes de volumes et de revenus [ONK-98].

Diverses sources décrivent les différentes phases qui traitent de la transformation et la manipulation de l'idée de produit et également de ses composants physiques. Dans un tel genre de modèles, les produits font une traversée de la génération de l'idée principale et du concept, vers la production, la réalisation et définir la livraison au client final. Par exemple STEP définit un modèle de référence durant les phases de cycle de vie du produit (cf. figure 2.2), alors que diverses entreprises proposent leur propre modèle de référence [VAN-02].

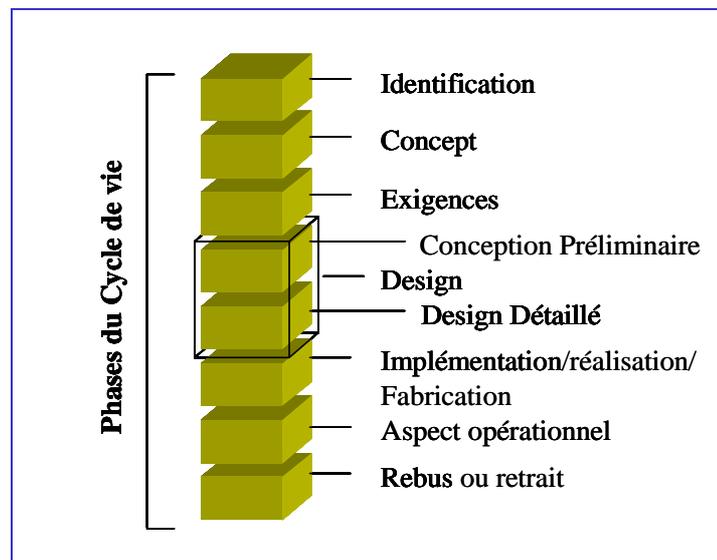


Figure 2.2. *Phases du cycle de vie produit [ONK-98, TER-05]*

GERAM (architecture généralisée de référence d'entreprise et l'initiative de méthodologie) [GER-98] et la nouvelle norme EN/ISO 19439, classifient un ordre d'activités dans un système complexe par cycle de vie (cf. Figure 2.2). Les différentes phases du cycle de vie définissent les types d'activités pertinentes à réaliser depuis le commencement jusqu'au rebut (ou fin de vie).

## 2.2. L'ANALYSE DU CYCLE DE VIE DU PRODUIT

L'analyse du cycle de vie du produit plus connue dans la littérature scientifique sous sa dénomination anglaise, à savoir Life Cycle Analysis (LCA), la technique d'Analyse du Cycle de Vie (ACV) d'un produit est née aux USA dans les années 70, à la suite de la crise énergétique. Elle a été initialement développée dans le but de répertorier les exigences énergétiques des processus industriels.

D'après la norme NF X30 300, l'ACV peut être définie comme « une approche méthodologique visant à mesurer l'ensemble des flux de matières et d'énergie, ainsi que l'ensemble des rejets provoqués dans le cycle de vie d'un produit ». Nous retiendrons que cette technique vise à s'assurer que les effets environnementaux dus aux différentes phases du cycle de vie du produit sont identifiés et réduits, et non simplement transférés d'une phase à l'autre. En pratique, il s'agit de collecter puis d'évaluer (qualitativement et quantitativement) les données nécessaires à l'analyse d'un produit donné, dont son impact environnemental. Une telle analyse prend en compte chacune des phases du cycle de vie. Une définition plus détaillée a été définie, elle distingue notamment trois phases [SVO-95] :

- une phase d'inventaire (Life Cycle Inventory). Elle est dédiée à la construction d'une base de données relatives à l'analyse souhaitée, recensant notamment les matières premières, l'énergie, les émissions, les déchets, etc., sur tout le cycle de vie ;
- une phase d'évaluation de l'impact dans le cycle de vie (Life Cycle Impact Assessment). Elle concerne, par exemple, l'évaluation des effets environnementaux du produit, aussi bien sur la santé des individus que des points de vue sociétal, culturel et économique ;
- une phase d'analyse des améliorations (Life Cycle Improvement Analysis). Elle porte par exemple sur une étude des possibilités de réduction des impacts environnementaux, en se basant sur des critères qualitatifs et quantitatifs.

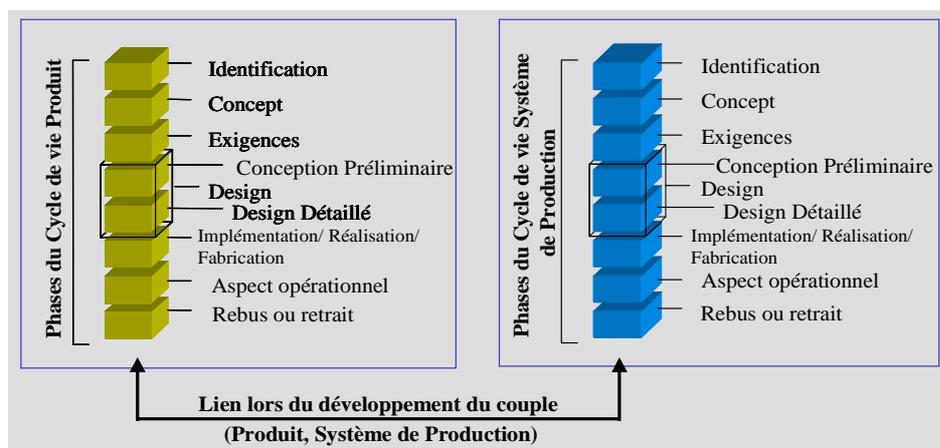


Figure 2.3. Cycle de vie Produit/Système production

Du fait de sa couverture complète du cycle de vie des produits, l'ACV met en jeu des connaissances et des outils très variés. Elle touche, aussi bien à la conception du produit qu'à sa fabrication, son utilisation ou son retrait. Elle permet d'améliorer la compatibilité d'un produit avec les exigences des systèmes le concernant notamment celui de production. L'ACV débouche sur les principes de la conception produit. Nous en déduisant qu'une bonne analyse du cycle de vie du produit est nécessaire. Elle apporte une amélioration au développement et la production du produit, qui pourrait être très bénéfique. Concernant l'impact, nous le dirigeons vers le système de production (cf. figure 2.3).

### 3. LE BESOIN D'UN MODELE DE PRODUIT

Après l'analyse du cycle de vie des produits, nous abordons quelques modèles de produits développés par la communauté PLM afin d'assurer une maîtrise tout au long du cycle de vie.

Effectivement, les outils PLM proposent en standard des fonctionnalités de modélisation de la structure produit, mais aussi, plus récemment, des fonctionnalités de personnalisation de cette structure. De leur côté, les modélisations d'un produit sont multiples en fonction des experts métiers qui interviennent en conception.

La plupart des méthodes de modélisation de produits actuellement développées sont principalement axées sur une ou plusieurs étapes du cycle de vie des produits [LI-06].

Ce chapitre est dédié à la représentation de quelques travaux réalisés dans la modélisation des produits. Parmi ces travaux, nous trouvons le modèle basé sur le Holon exposé dans les travaux de [TER-05], conçu pour assurer la traçabilité des produits et qui a été implémenté en XML. D'autre part nous, avons un modèle générique, dit Core Product Model (CPM<sup>5</sup>) [SUD-05, FEN-02], qui contient les éléments fondamentaux pour représenter tout produit. Le CPM a été conçu comme une représentation des informations relatives au développement de produits et peut être vu comme une base pour le développement de la nouvelle génération d'outils de CAO. Nous trouvons aussi son extension, l'Open Assembly Model (OAM<sup>6</sup>).

### 3.1. LA MODELISATION

La modélisation est une démarche intellectuelle et scientifique qui permet d'approcher et de comprendre un système complexe en créant un modèle (souvent graphique) qui représente la réalité et qui doit être compréhensible par tous (cf. figure 2.4).

C'est aussi une représentation abstraite et simplifiée (i.e. qui exclut certains détails), d'une entité (phénomène, processus, système, etc.) du monde réel en vue de le décrire, de l'expliquer ou de le prévoir.

Ainsi un modèle offre une vision schématique d'un certain nombre d'éléments que l'on veut décrire ; d'ailleurs la coutume dit : « Un dessin vaut mieux qu'un beau discours ». Réaliser un modèle c'est avant tout dessiner ce que l'on a compris d'un problème dans une syntaxe précise (la syntaxe UML ou SysML par exemple). Un modèle va donc nous servir à représenter une solution au problème posé.

---

<sup>5</sup> CPM : est le modèle de produit développé par le bureau US de normalisation (NIST)

<sup>6</sup> OAM : est le modèle d'assemblage, en tant qu'extension du CPM

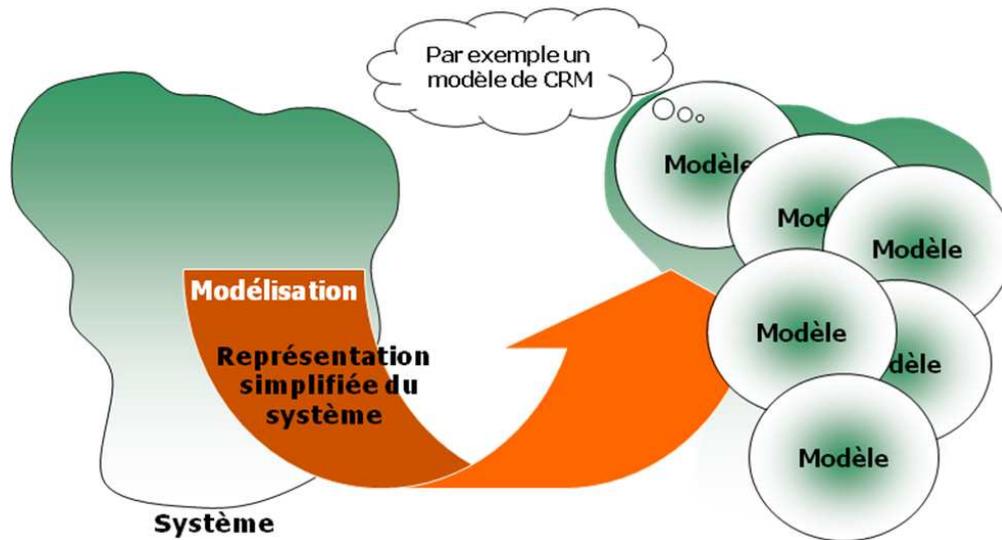


Figure 2.4. *Du système vers le modèle*

Lorsque l'on a à traiter un problème complexe, il est conceptuellement impossible de l'appréhender d'un seul bloc. Il y a nécessité d'établir plusieurs niveaux d'abstraction. On a besoin de « découper, simplifier » et donc d'analyser le problème afin de pouvoir le comprendre. Une fois le problème raffiné en sous-problèmes de taille plus petite, l'analyse de chacun de ces sous-problèmes nécessite de commencer à en comprendre les grandes lignes puis d'affiner sa compréhension pour, enfin, comprendre tous les détails. Le décomposer peut engendrer une négligence de la communication ou des liens existants entre ses parties. Cet aspect sera étudié dans le chapitre suivant à travers l'ingénierie système et sa norme EIA 632. Il est normal qu'un modèle d'analyse ne dise pas tout, qu'il soit incomplet du point de vue du concepteur. Le modèle d'analyse n'est qu'une vision du monde réel à un niveau de détail « analyse » et à ce titre il est essentiel de bien choisir la méthode de modélisation qui convient au problème.

La recherche sur la modélisation du Produit dans l'ensemble du cycle de vie s'avère essentielle. Dans un Système, le modèle d'information du produit, à différentes étapes du cycle de vie, est souvent représenté par la nomenclature (BOM<sup>7</sup>).

---

<sup>7</sup> BOM: Bill Of Material

Classiquement, les SGGT<sup>8</sup> peuvent comporter trois vues arborescentes [EYN-05] :

- une vue « as designed » spécifique au bureau d'études,
- une vue « as manufactured » dédiée à la production,
- une vue « as maintained » pour la maintenance.

Un des intérêts majeurs de ces systèmes réside dans leur capacité à gérer l'évolution des différentes données techniques tout au long de leur cycle de vie, tout en maintenant la cohérence et l'intégrité des informations. Deux mécanismes principaux sont en général disponibles : la révision (ou le versionnement) et la gestion de la maturité [EYN-05].

Une avancée serait donc un modèle de produit qui pourrait englober ces trois vues tout en restant générique (cf. figure 2.5).

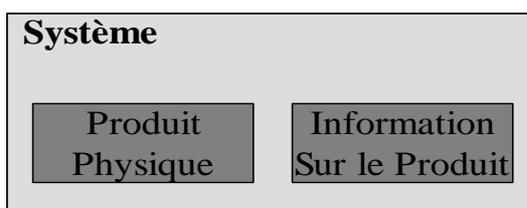


Figure 2.5. *La nouvelle génération de modèle de produit*

De même, les équipes distantes qui travaillent en parallèle pour la réalisation des différentes parties composant un même produit, ont besoin d'échanger les données relatives aux modèles de (CAO par exemple). Pour une meilleure synchronisation des tâches et des objectifs, ces équipes ont besoin aussi des autres données relatives à la formalisation du besoin client, aux spécifications et décompositions fonctionnelles, à l'analyse de conception, aux plans de fabrication, etc. Une nouvelle génération de systèmes de CAO est donc nécessaire pour capturer et gérer le large spectre d'informations générées et utilisées tout le long du cycle de vie du produit [FOU-05].

---

<sup>8</sup> SGGT: Système de Gestion de Données Techniques

## 4. QUELQUES MODELES

Considérons deux outils logiciels fonctionnellement équivalents, comme deux outils de CAO ou deux éditeurs de textes, devant inter-opérer sur des objets. Un préalable au processus d'intégration est de disposer d'une spécification des types des objets que les outils manipulent. Celle-ci décrit la structure des objets et "autant de sémantique que possible", c'est-à-dire le plus possible d'information sur les rôles joués par les éléments ou attributs composants les structures [BOU-95].

Partant de cette idée, nous nous penchons sur les modèles de produits faits, et voyons leur principe et utilisation afin de bien définir les processus d'intégration, qui supposent, bien sûr, l'existence de modèles de représentation.

### 4.1. MODELE A BASE DE HOLON

Avant de présenter le modèle nous voudrions tout d'abord introduire la notion de Holon qui a fait objet d'une autre vision du modèle produit.

#### 4.1.1. Holon

Certains auteurs définissent le paradigme d' « Holon » comme étant l'association d'un produit avec l'information. Les processus manipulant ces Holons sont qualifiés de processus « holoniques ». Le mot « Holon » a été présenté par [KOE-67], comme la combinaison du mot grec « Holos » signifiant « entier » avec le suffixe « -on », comme un proton ou un neutron qui suggère une particule ou une partie individuelle. Depuis 1993, le terme « holonique » a été adapté au monde de la fabrication, faisant ainsi émerger la communauté des systèmes de fabrication Holoniques (HMS : Holonic Manufacturing Systems). Dans cette communauté, un HMS est un système autonome et coopératif pour transformer, transporter, stocker et/ou contrôler l'information et les objets physiques [TER-05]. Cette approche a pour but d'expliquer la structure et le comportement du système complexe, et, a été développée seulement à cette fin.

L'idée de fabrication « Holonique » a été introduite pour la première fois au début des années 90 à fin de développer une nouvelle approche pour la conception de système de fabrication. Depuis, de nombreuses recherches et projets ont été

réalisés, et ce domaine de recherche est considéré comme l'un des plus avancés dans le domaine des systèmes manufacturiers intelligents [TER-05].

Tout d'abord, un Holon est à la fois un tout et une partie d'un ensemble. Ce qui converge avec la définition de l'EIA 632 que nous verrons dans le chapitre suivant. L'autre élément essentiel de la propriété du Holon est sa double nature, partie physique et partie consacrée à l'information.

Il est important de noter, la forte liaison entre ces deux parties au sein d'un même Holon. Toute entité est « Traçable » en reliant d'une manière univoque sa partie physique (si elle existe) et sa propre partie information la décrivant.

### 4.1.2. Structure du modèle

Ce modèle définit un Holon comme la fusion d'un objet physique et de son information connexe ; c'est un lien associatif tel que dans la modélisation OO. Si le lien entre les deux manque, l'idée de Holon disparaît et le modèle de traçabilité perd son objectif. Par exemple ; c'est le cas de la carte grise qui n'existe que si le véhicule existe.

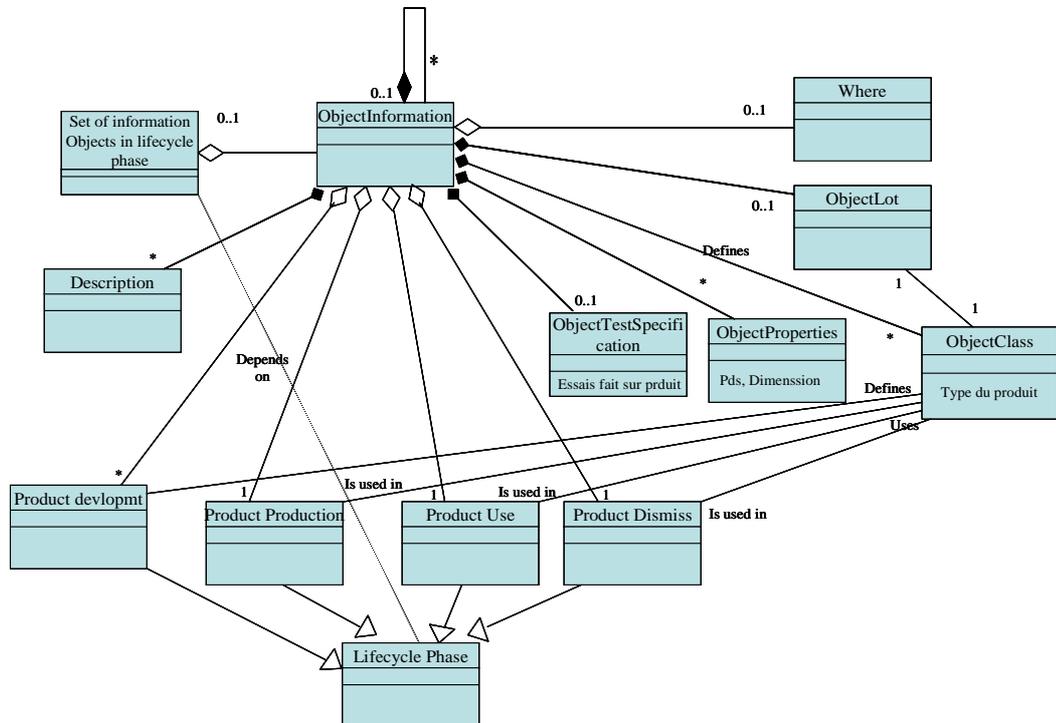


Figure 2.6. *Modèle Holonique [TER-05]*

Dans les travaux de [TER-05], le lien proposé parmi de nombreuses technologies est celui de la technologie RFID. Pour assurer ce lien, il a été introduit la classe ID, qui est une clé d'identification unique pour chaque produit.

La classe ObjectInformation, représentée par la figure 2.6, est la classe principale du modèle.

Sa relation avec la partie physique a une cardinalité de 1 pour 1. C'est le cœur du modèle, c'est une classe stéréotype d'autres classes, comme par exemple les ressources. La classe ObjectInformation peut être composée par d'autres classes ObjectInformation, par exemple une voiture, peut être composée par d'autres produits, comme le moteur, le pare-choc, etc. Elle est aussi, composée de plusieurs autres classes, qui sont nécessaires pour l'archivage des informations concernant le produit et ce, au cours de son cycle de vie. Ce qui permet de suivre les mouvements du produit et de savoir où il était et où il est. Une autre classe est nécessaire, celle de la description, qui contient une description textuelle de l'objet physique.

La classe ObjectInformation est générée lorsque le produit est au début du cycle d'exploitation; ce moment peut aussi être celui de l'émission de l'ordre de production, à cet instant la classe ObjectInformation peut être générée. Au début cela va permettre d'identifier le produit. Ensuite, lorsque la durée de vie du produit est à un stade avancé les informations stockées dans le modèle sont mises à jour ou changées. La traçabilité de toutes les informations concernant la manière dont la durée de vie du produit évolue est aussi stockée dans un fichier. Par exemple, on peut citer les résultats des tests effectués sur le produit. Durant la phase de production on peut attribuer au machines l'opérateur qui y travaille et les sous-composants utilisés dans cette phase; Il est possible de stocker les informations durant son cycle de vie jusqu'à la destination finale.

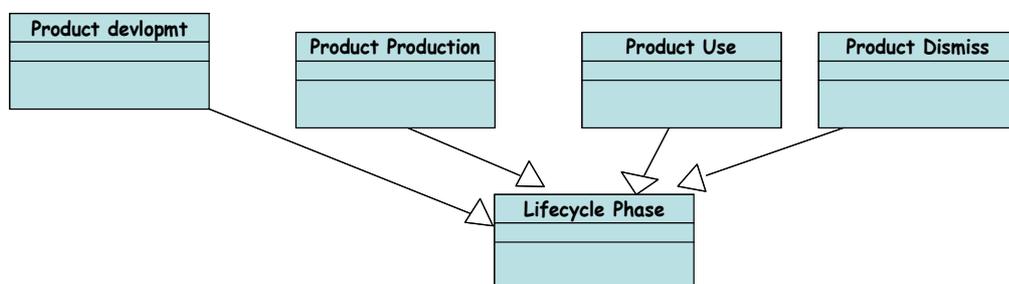


Figure 2.7. Phases du cycle de vie [TER-05]

La classe de la phase du cycle de vie (cf. Figure 2.7) comporte : le développement du produit, la production du produit, l'utilisation de produits et la classe de la mise au rebut du produit. Chacune de ces classes décrit une période particulière de la vie du produit.

La classe développement de produit représente la phase de conception; elle trace les décisions, les choix faits, les exigences posées par le client ... Cette phase du cycle de vie est très différente des autres, et est également très examinée par d'autres auteurs. Elle a aussi beaucoup de logiciels (eg CAO comme Catia, UGS NX).

La classe « production du produit » assure la traçabilité, par exemple les personnes qui ont participé à la fabrication manufacturière du produit, sur quelles machines, avec quelles matières premières (cf. figure 2.8). Si le modèle est utilisé dans un sens avant, il contient aussi les informations sur la manière dont le travail devra être fait.

La classe « product use » assure la traçabilité concernant la vie utile du produit, quand il est utilisé, et le but pour lequel il a été créé.

La classe « Product Dismiss » assure la traçabilité concernant, comment le produit est démonté et mis au rebut. Cette classe est particulièrement utile si elle est utilisée en avance de phase pour contenir les Informations :

- sur la manière de démonter,
- sur les pièces à recycler,
- sur les éléments polluants et la façon de stocker et de les détruire sans risque.

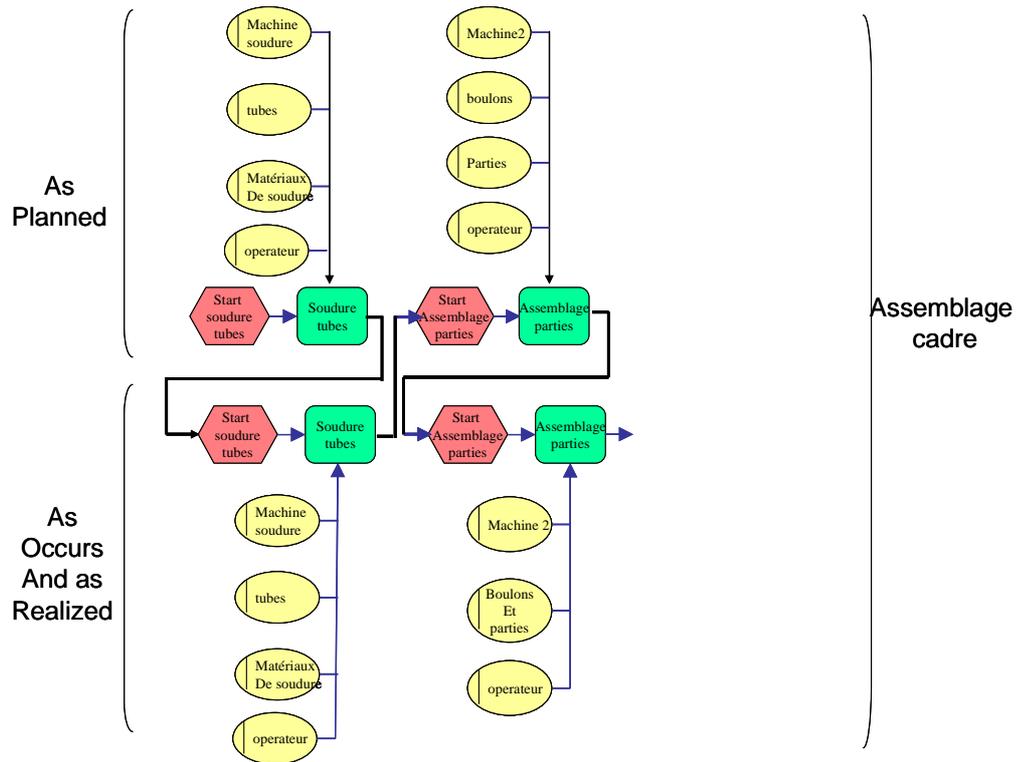


Figure 2.8. Application au vélo

## 4.2. SYNTHÈSE 1

Le modèle Holon est pris comme noyau dans le développement d'un modèle de produit au sein du projet européen PROMISE. Le projet a pour but d'établir un modèle de produit qui contiendra les informations des événements importants qui surviendront durant son cycle de vie. Le cycle de vie est présenté en trois phases BOL (Début du cycle de vie), MOL (milieu) et EOL (Fin).

Nous avons effectué des travaux en collaboration avec l'équipe d'IKAP (Brême). Au niveau de la phase MOL (dédiée à la maintenance) [MES-06b]. Ensuite à travers une étude comparative entre la démarche utilisée dans le cadre du projet européen « PROMISE » et celle de l'ingénierie système. L'exemple que nous avons pris est celui d'un moteur d'engin lourd.

Les informations recueillies durant le cycle de vie vont servir de base de données pour le recyclage et la réutilisation de quelques parties des produits (dont la durée de vie dépasse celle du produit lui même). Nous soulignons aussi que la technologie de traçabilité utilisée basée sur les RFID.

### 4.3. CPM : CORE PRODUCT MODEL

Initialement le CPM a été prévu pour fournir un modèle de produit de bas-niveau qui n'est pas attaché à une application ou un logiciel spécifique. Il est ouvert, simple, générique, extensible, indépendant de tout procédé de développement de produit ; et capable de saisir toutes les informations du produit à maintenir tout au long de son cycle de vie [FEN-04].

Le CPM a été conçu comme une représentation des informations relatives au développement de produits et peut être vu comme une base pour le développement de la nouvelle génération d'outils de CAO. Ce modèle fournit une représentation de produits manufacturiers (artifacts) contenant une large variété de concepts d'ingénierie de produits, outre les concepts géométriques. Cette représentation inclut les notions de forme, de fonction, de comportement, de matériaux, de décompositions physiques et fonctionnelles, de mise en correspondance entre la fonction et la forme ainsi que plusieurs relations entre ces différents concepts [FEN-04, FOU-05].

Le CPM est destiné à représenter l'information de conception de produits des systèmes à grande échelle pour le support de l'information liée à la gestion de cycle de vie du produit (PLM).

### 4.4. LES CLASSES CPM

Les classes du CPM sont regroupées en quatre catégories (cf. figure 2.9): classes abstraites (abstract classes), classes objet (object classes), classes relation (relationship classes) et classes utiles (utility classes).

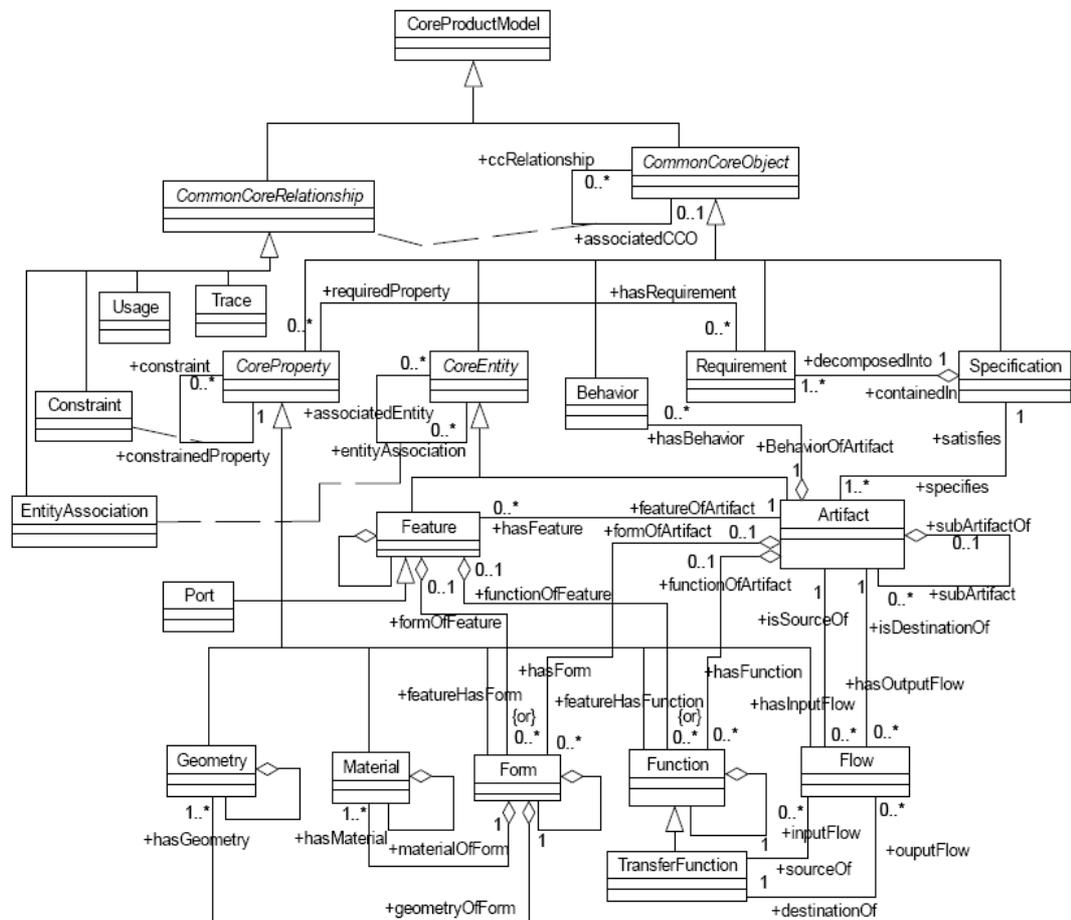


Figure 2.9. *Diagramme de Classe du CPM (version 2) [FOU-05]*

Afin de rendre la représentation aussi robuste que possible sans devoir prédéfinir les attributs qui pourraient être appropriés dans un domaine donné, le CPM est limité aux attributs exigés pour saisir l'information générique de produit et pour créer les liens entre classes. Cette représentation exclut les attributs des domaine-spécifiques (par exemple, des attributs de dispositifs mécaniques ou électroniques) ou des objet-spécifiques (par exemple, des attributs spécifiques à la fonction, à la forme ou au comportement).

Le CPM offre trois aspects d'un produit ou d'un objet (Artifact), sa fonction, sa forme, son comportement.

Ainsi, le CPM peut supporter le raisonnement purement fonctionnel au sujet d'un produit aux étapes conceptuelles du développement comme enregistrer et modéliser son comportement dans l'étape post-design (cf. figure 2.10).

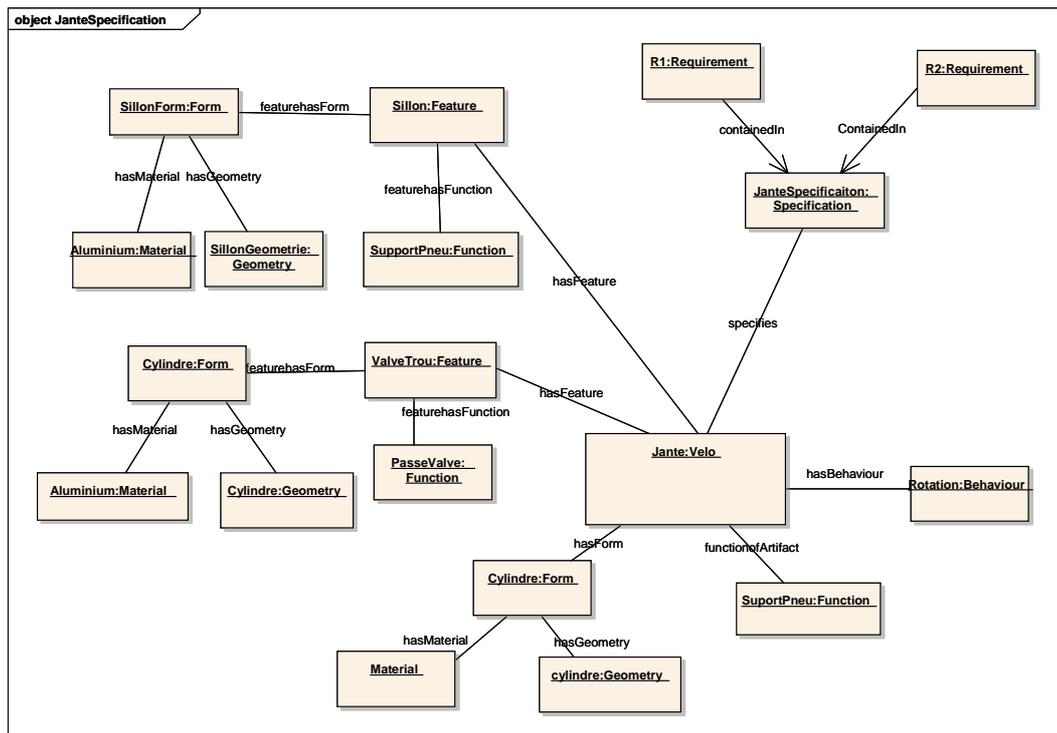


Figure 2.10. Exemple d'application (simplifié) du CPM sur le vélo

Artificat est la classe principale du CPM. Elle représente une entité distincte dans un produit, que ce soit un composant, une partie, un sous-assemblage ou un assemblage. Toutes ces entités peuvent être représentées et interconnectées à travers les liens sous-artifact et sous-artifact-de modélisés par une relation réflexive sur la classe Artifact (relation ayant les rôles subArtifacts/subArtifactOf). Une forme caractéristique (la classe Feature) est une partie de la forme physique d'un artificat, destinée à assurer une fonction particulière. Selon sa fonction une forme caractéristique est dite de conception, d'analyse, de fabrication, etc. Une spécification (la classe Specification) est une description dérivée des besoins clients et/ou des besoins d'ingénierie, elle représente l'ensemble des données pertinentes pour la conception d'un artificat et incorpore les besoins spécifiques que la fonction, la forme, la géométrie et les matériaux d'un artificat doivent satisfaire. Un besoin (la classe Requirement) est un élément particulier de la spécification d'un artificat qui détermine un des aspects de sa fonction, de sa forme, de sa géométrie ou de ses matériaux [FOU-05].

#### 4.4.1. Synthèse2

Afin de montrer comment le CPM peut être mis en œuvre et utilisé, il est possible de générer l'équivalent du produit de base XML.

L'objectif général est de trouver les moyens d'étendre le CPM (CPM 2) afin qu'il puisse éventuellement servir de modèle central pour collecter et organiser toutes les informations sur les produits tout au long de leur cycle de vie.

L'élément fondamental qui fait du CPM un support pour les applications orientées PLM est le fait que la description d'un produit (un artifact) est structurée autour des trois concepts clefs suivants [FOU-05]:

- La fonction représente ce que l'artifact est supposé faire (i.e. le comportement souhaité).
- La forme représente la solution (un modèle CAO) trouvée pour le problème spécifié par la fonction. Dans le CPM2, les caractéristiques physiques d'un artifact sont représentées en termes de sa géométrie sous forme d'un modèle CAO classique.
- Le comportement représente comment l'artifact accomplit sa fonction. Ce comportement observé est souvent évalué et analysé pour vérifier que l'artifact assure bien sa fonction.

Le CPM est en cours d'amélioration et n'est pas encore complet, ce qui explique la version révisée (2007) trois ans après la version initiale.

#### 4.5. OAM : OPEN ASSEMBLY MODEL

Etant donné que la plupart des produits manufacturiers sont des assemblages de plusieurs composants, la capture, la représentation des données d'assemblage et la gestion des assemblages font donc partie des éléments de base de la modélisation produit.

C'est dans ce sens qu'est proposée l'extension du CPM, dite Open Assembly Model (OAM). L'OAM décrit les composants et leurs relations dans un assemblage. Il s'appuie sur la norme d'échange de données STEP pour l'extraction des informations géométriques. Les autres informations relatives aux fonctions, formes, comportement, ajustement, etc. sont créées (saisies) directement dans le modèle.

L'utilisation combinée du CPM et de l'OAM permet de modéliser et d'échanger le flux d'informations générées pendant toutes les phases de la conception d'un objet manufacturé [FOU-05].

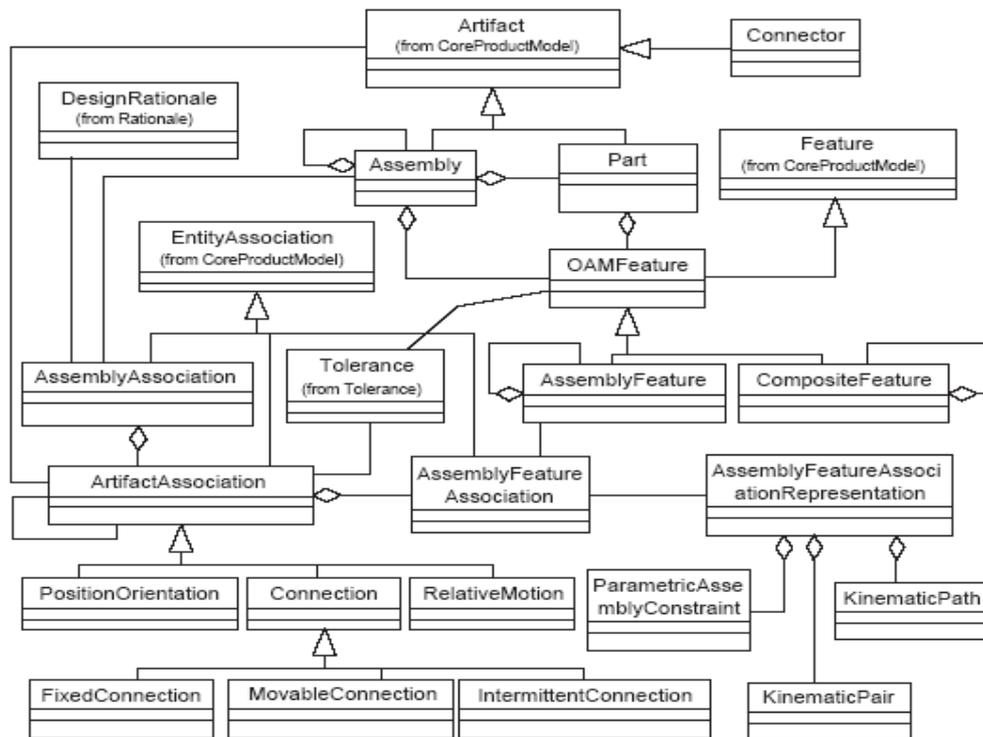


Figure 2.11. Diagramme de Classe de l'OAM [FOU-05]

La raison de créer un modèle d'assemblage ouvert (OAM) était de fournir un standard de représentation pour le système d'assemblage avec l'information au niveau de tolérance des systèmes. L'OAM (cf. figure 2.11) a été créé pour être extensible (modélisation en UML). L'information sur les relations de l'assemblage et de la composition de produits est incorporée dans le schéma.

## 5. CONCLUSION

Ce chapitre a porté sur l'analyse du besoin de modèle défini par la littérature. A partir de ces besoins, des modèles ont été proposés dans le cadre du PLM, dont la caractéristique essentielle est de contrôler le flux d'information croissant concernant le produit (articles, documents, structure, historique).

## Chapitre II - Analyse de l'évolution du développement du produit et du système de production

La modélisation du produit consiste à joindre au produit les informations le concernant d'où le besoin d'établir un modèle avec un lien entre flux d'information et partie physique du produit à la fois. Pour cela, il faut d'abord analyser et définir les différentes phases du cycle de vie du produit.

Dans ce sens vient le modèle « Holon » proposé avec une implémentation en XML, il a été utilisé pour deux cas industriels, et raffiné par la suite dans le projet européen « PROMISE ». Cette approche vise à favoriser l'interopérabilité au sein de la diversité des applications d'entreprise, en particulier au stade de la fabrication. Il est proposé un méta modèle soutenant la partie information de la traçabilité des produits tout au long de son cycle de vie. Ce Modèle a été établi à partir de travaux existants autour de certaines normes: PLCS, Mandate, ANSI/ISA-95, PLM / XML et PML.

Aussi les modèles développés par l'organisme de normalisation NIST, le CPM et son extension, l'OAM. Il faut souligner le fait que le modèle OAM, ne tient pas compte des machines d'assemblage, etc.

Le tableau qui suit illustre les deux modèles produit vu.

	Description	Cycle de vie	Production	Exigence	Format de données
HOLON	Dédié à la traçabilité de produits manufacturiers	Couvre tout le cycle	EPC: assure une traçabilité de la production	Pas de classe spécifique pour les exigences	XML
CPM	Dédié à la normalisation de produits manufacturiers	Dédié à la partie design	OAM: partie assemblage	Classes: requirement, spécification	XML

Le chapitre suivant, portera sur l'ingénierie système. Nous allons introduire l'ingénierie système à travers la norme EIA632, et présenter sa vision envers le produit. La démarche qu'on suivra sera : Processus, Méthodes, Outils.



# Chapitre III

---



# Chapitre 3



---

## DÉPLOIEMENT DE L'IS AUX PRODUITS MANUFACTURIERS

### 1. INTRODUCTION

Nous entreprenons dans cette partie une approche inductive allant de l'ingénierie système et ses concepts et mécanismes génériques vers le cas des systèmes de production manufacturière. Ce travail s'est voulu indépendant de toute norme spécifique bien qu'en fin de ce chapitre on tend à incliner vers une norme spécifique. Les cas de lien et impact de changement vont s'appuyer spécifiquement sur une norme.

Le chapitre est structuré en plusieurs parties. Une brève introduction est donnée en première partie ; la deuxième partie porte sur la caractérisation de systèmes de

production à travers les approches de modèles d'architecture proposés tels GERAM ou CIMOSA. La troisième partie est dédiée au déploiement de l'IS, et aux différents types de déploiement, ce qui peut être vu comme une instanciation si on veut utiliser la terminologie ambiante. Comment les systèmes de productions deviennent une instance de l'IS générique peut contribuer à qualifier ce travail comme une projection. La quatrième partie s'intéresse à l'apport de la norme EIA 632 dans ce contexte qui sera plus détaillé dans le chapitre cinq sur les liens et l'impact du changement. On avait besoin de la norme dans ce contexte.

Notre travail s'est limité aux seuls processus techniques : processus des exigences, conception du produit, réalisation et validation.

## 1.1. INTRODUCTION A L'IS

L'objectif de ce chapitre est de présenter les bonnes pratiques dans la mise en œuvre des processus, méthodes et outils.

L'ingénierie système couvre un large spectre d'applications. Les normes associées, relativement récentes, la première date de 1994, font abstraction de la nature du système. Cette abstraction est utile car elle généralise les méthodes de conception de système et donc de produit ou service, mais elle pose le problème de l'instanciation d'un type d'industrie » afin de tenir compte de ses particularités et faciliter son application. Ces travaux de déploiement ont été principalement faits dans l'industrie d'armement, l'aérospatiale et l'aviation.

Le processus de rationalisation des pratiques de développement des systèmes techniques ne date pas d'aujourd'hui. L'INCOSE présente une généalogie des normes sous le schéma présenté (cf. figure 3.1).

Cette généalogie fait apparaître la norme militaire MIL-STD-499, conçue à l'origine par l'US Air Force en 1969 et qui a connu ensuite deux révisions (A en 1974, et B en 1994). Elle donne ensuite naissance à deux normes civiles : IEEE 1220 et l'EIA 632. Dans cette généalogie, l'ISO 15288 apparaît comme une héritière de l'EIA 632. Dans son contenu, elle porte, de façon manifeste, la marque de l'IEEE 1220 [MIC-06].

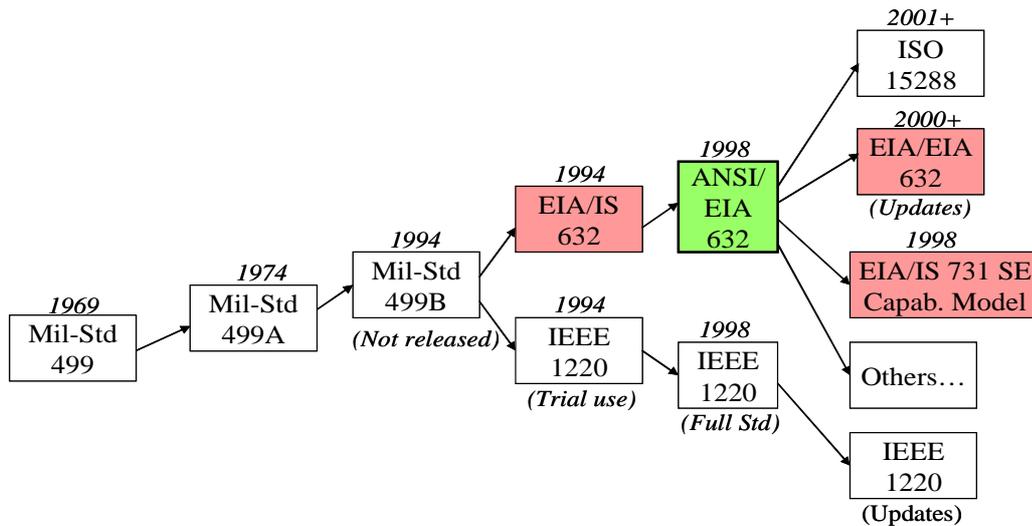


Figure 3.1. Généalogie des normes selon l'INCOSE

## 2. CARACTERISATION DES SYSTEMES DE PRODUCTION MANUFACTURIERE

L'objectif de ce sous chapitre est de donner notre point de vue des systèmes de production. Dans notre approche le système de production est vu comme un système au sens de l'ingénierie système. Dans la partie qui suit on essaiera de voir comment faire un déploiement de cette vision, en détails au niveau des processus d'ingénierie.

On distingue plusieurs types de caractérisation :

- Caractérisation, modélisation et amélioration des systèmes de décision en production.
- Caractérisation, modélisation et amélioration des systèmes d'information en production.
- Intégration de la phase de production dans le cycle de vie des produits

De cette caractérisation, plusieurs méthodologies de modélisation d'entreprise ont été développées, les plus connues sont le GERAM [WIL-94] et CIMOSA [CIM-93].

On peut se référer aux travaux sur les architectures système (CIMOSA) ; notre objectif n'est pas de traduire un modèle CIMOSA mais plus, de voir comment caractériser un système de production sous l'angle architecture.

La production est vue comme une transformation de ressources appartenant à un système productif et conduisant à la création de produits.

Ces ressources, humaines et équipement, interagissent à travers une organisation, comme la gestion de production ; ceci concerne l'aspect exploitation. Les produits déterminent le système productif. C'est dans ce cadre que la caractérisation nous est nécessaire.

Pour le système d'information et la gestion de production, on peut faire le lien avec les modèles d'information ont été présentés dans le chapitre deux.

## **2.1. LES METHODOLOGIES DE MODELISATION**

Nous considérons deux méthodologies sur lesquelles des citations et des travaux considérables ont été faits, à savoir GERAM et CIMOSA ; CIMOSA [SIT-15] a été développée dans le cadre d'un projet européen sous l'égide d'un consortium (AMICE) [VER-04]

La méthodologie CIMOSA repose sur une séparation claire entre l'environnement de l'ingénierie et l'environnement opérationnel de l'entreprise. Elle est basée sur :

- Un cadre de modélisation (incluant une architecture de référence qui fournit une intégration conceptuelle par unification sémantique).
- Une infrastructure intégrante (permettant l'intégration physique et l'intégration des applications).
- Un cadre méthodologique (couvrant le cycle de vie du système de production et assurant la cohérence de l'ensemble).

La méthodologie CIMOSA apporte une réponse originale au problème d'intégration globale en fournissant une infrastructure intégrante. CIMOSA propose une modélisation cohérente de l'entreprise, depuis l'expression précise des besoins jusqu'à une description conforme de l'implantation. En revanche, la représentation textuelle préconisée par CIMOSA pendant l'analyse comportementale ne permet pas de visualiser facilement le comportement d'un processus.

L'architecture de référence GERAM (acronyme de Generic Enterprise Reference Architecture and Methodology) a été introduite par le groupe de travail IFAC/IFIP Task Force on Architectures Enterprise Integration.

GERAM est un cadre de travail composé de six entités :

- L'architecture d'Ingénierie de l'Entreprise Générique (GERA), définissant le cycle de vie de l'entreprise.
- Une Méthodologie d'Ingénierie de l'Entreprise Générique (GEEM) permettant de décrire les différents composants à développer pour réaliser l'intégration d'une entreprise.
- Des Outils et Langages de Modélisation pour l'Entreprise Générique (GEMT&L).
- Des Modèles Génériques d'Entreprise (GEMs). Ils sont caractérisés par des concepts communs à toutes les entreprises. Le processus d'ingénierie d'une entreprise peut les utiliser comme composants d'essai pour la construction d'un modèle spécifique à une entreprise.
- Des Modules Génériques d'entreprise(GMs). Ce sont des implémentations standards de composants pouvant être utilisés dans l'intégration d'une entreprise.
- Des Théories Génériques d'entreprise (GTs) ; elles décrivent les aspects les plus génériques des concepts apparentés aux entreprises. Elles sont aussi appelées théories d'ontologie et peuvent être considérées comme des méta-modèles.

## 2.2. RELATIONS AVEC L'IS

Le cadre ne remet en cause les modèles d'entreprise au niveau des processus d'ingénierie. On essaye avant de montrer le déploiement d'entrevoir les similarités.

Le cadre structurant de CIMOSA offre une méthodologie d'intervention en accompagnement du cycle de vie du système de production qu'on rencontre dans l'ingénierie système. Notons que les normes associées à l'IS comme l'EIA-632 n'imposent aucun cycle de développement spécifique.

Les phases du cycle de vie du système dans CIMOSA sont:

- La définition du système et l'expression des besoins.
- La conception du système.

- La description de l'implantation.
- La phase d'installation.
- La phase de mise en œuvre.
- La phase d'exploitation.
- La phase de maintenance/modification du système.
- La phase arrêt.

L'IS reste une démarche générique qui est compatible avec n'importe quel système. Elle propose une approche globale et donc nous permet d'aborder la problématique de changement en considérant le système et non uniquement le produit.

### **3. DEPLOIEMENT EN TENANT COMPTE DE L'EVOLUTION DU PRODUIT**

Nous essayons à travers les modèles d'entreprise présentés de situer la complémentarité au regard des concepts. De fait, on passe à une projection des processus IS vers des processus systèmes de production.

Nous essayons ce déploiement dans le cadre de notre problématique pour s'assurer que le produit puisse évoluer dans le futur. On fait abstraction à ce niveau du modèle de traçabilité

Si on considère la conception de produit ou système de production, il y a les méthodes classiques qui ont fait leur preuves mais ne tiennent pas compte des nouvelles technologies disponibles. On peut prendre une norme pour définir la structure du système et ainsi de suite... Cependant il est préférable poser le problème dans le cas général en s'appuyant sur la caractérisation du système de production présentée précédemment.

#### **3.1. PROCESSUS DES EXIGENCES**

##### **3.1.1. Processus d'ingénierie des exigences**

Le marketing des nouvelles technologies, devient de plus en plus un problème pour les commerçants, lorsque les clients ne trouvent pas ce qui correspond à leurs

demandes. Par exemple, la majorité des compagnies dans le marché des téléphones portables se focalisent sur les exigences les plus intéressantes pour leurs clients. Parmi les exigences d'un client on peut citer: le poids, les fonctions du portable, l'autonomie de la batterie et le prix. De la même manière, les compagnies dans d'autres domaines comme l'électronique, l'automatique, la pharmaceutique et le génie logiciel ont défini que les exigences doivent être complètement « comprises » avant le développement du produit.

D'après les différents problèmes rencontrés (volatilité, modification, expression des exigences, etc...) durant le développement, les industriels ont trouvé la nécessité d'élaborer une étude comme l'ingénierie d'exigences [SAH-02b], pour couvrir la gestion d'exigences durant tout le cycle de vie du développement de systèmes (de l'élicitation jusqu'à la validation).

En fait, l'ingénierie des exigences permet la production des spécifications. Une spécification peut contenir un nombre très varié d'exigences (de 50 jusqu'à quelques milliers). Pratiquement, une spécification est nécessaire pour rendre les exigences plus cohérentes, les maîtriser et les gérer au cours de développement du système. Les travaux de [HEL-01] avaient pour objectif d'élaborer une démarche qui permette d'améliorer le contenu des spécifications relatives aux systèmes embarqués.

La plupart des travaux académiques sur l'ingénierie des exigences ont principalement porté sur la modélisation et l'expression des exigences et très peu sur les problèmes émergents inhérents à la nature complexe des systèmes. Cependant, la méthodologie développée par [HEL-02] a pour objectif de s'assurer que les exigences sont déclinées, allouées, suivies, satisfaites (en totalité ou partialement ou pas du tout), vérifiables, vérifiées et justifiées. Dans ce qui suit, nous présentons les objectifs de l'ingénierie des exigences, les caractéristiques des exigences et la description du SRS (le document contenant la spécification des exigences du système).

### 3.1.2. Les objectifs de l'ingénierie des exigences

Les principales tâches de l'IE concernent:

- L'identification des parties prenantes,
- L'élicitation des exigences,

- L'analyse des exigences
- La formalisation des exigences,
- La vérification/ validation des exigences,
- La modification des exigences.

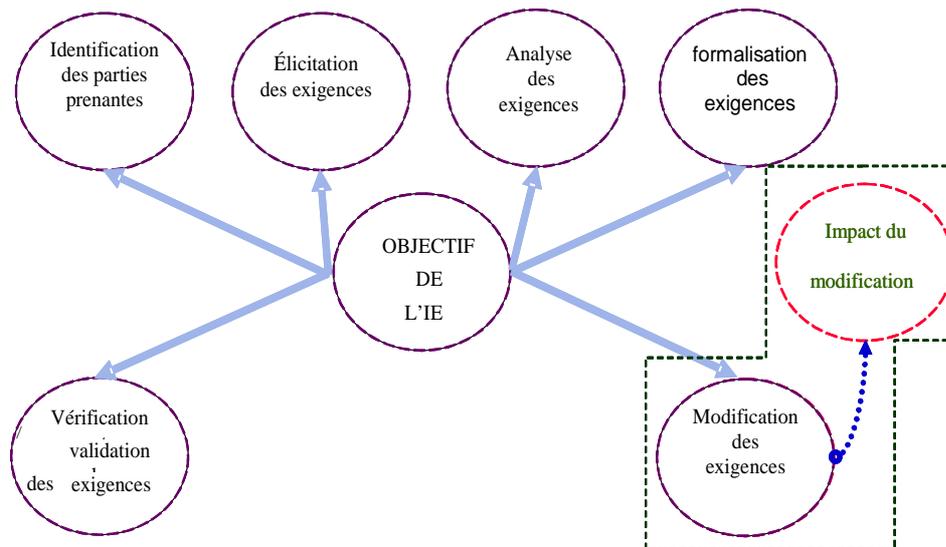


Figure 3.2. Les objectifs de l'ingénierie des exigences [ELJ-06]

### 3.1.3. L'identification des parties prenantes

Selon [GIB-04], il faut identifier les parties prenantes du système avant de le développer, ou autrement dit connaître les personnes liées au développement du système. Alors, lorsque l'on commence à exécuter le processus d'identification des parties prenantes, on répond explicitement à la question: Qui fait Quoi ?

Plusieurs définitions existent dans la littérature pour expliquer la signification des parties prenantes, mais pour faciliter la compréhension on peut dire que les parties prenantes représentent l'ensemble des personnes ou des groupes qui sont mis en relation avec un produit au cours de son cycle de vie. Parmi les parties prenantes, figurent: le développeur, le vérificateur, le concepteur, les clients, le fournisseur, etc.

### 3.1.4. L'élicitation des exigences

Après l'identification de toutes les parties prenantes, il faut exécuter le deuxième processus de l'ingénierie des exigences qui est le processus d'élicitation des exigences [SAH-02a].

La majeure partie de l'effort dans le cycle du développement des systèmes n'entre pas dans le processus d'écriture d'exigences (vue la diversité des technologies existantes), mais dans le processus de découverte, en essayant de répondre à la question "que doit faire le système?" et non pas "comment faut-il le faire ?".

Ce processus de découverte et d'élicitation des exigences est souvent vu par beaucoup de chefs de projets comme trop laborieux, trop long étaient, ou trop difficile à entreprendre. Il est quelque fois négligé comme si les exigences sont déjà présentes, et qu'il suffit de les exprimer. Mais, si les exigences sont intangibles, contradictoires, ou imprécises, il devient très difficile d'estimer le temps nécessaire à leur correction durant la conception et l'implémentation.

Actuellement, plusieurs approches existent pour faciliter l'exécution de ce processus. Les travaux de [COU-05a, COU-5b], ont porté sur cet aspect de manière spécifique et le développement d'un outil correspondant, MUSTER [COU-05c]. Mais ce n'est pas un processus automatique et les exigences ne sont présentées qu'en le langage naturel. La plupart des chercheurs pensent que ce processus doit obligatoirement contenir deux types de méthodes : « Brainstorming » (séance de réflexion) et Interview.

#### A) « Brainstorming »

La première méthode d'élicitation des exigences, est la séance de réflexion ou « brainstorming ». En effet, cette méthode est une manière efficace d'obtenir des idées intéressantes et claires. Pour que la session soit efficace, la plupart des chercheurs du domaine de l'ingénierie des exigences indiquent qu'il faut d'abord préciser l'objectif de la session [ROB-04], puis regarder des exemples de produits semblables.

Durant la session il faut numéroter les idées pour que les participants puissent se référer à elles facilement, les expliciter ; Chaque idée de n'importe quel participant peut être intéressante, mais il faut toujours que les idées servent l'objectif final de la session. Dans [ROB-04] les auteurs ont précisé l'importance d'utilisation des

tableaux, des papiers, la numérotation de toutes les idées et ils ont suggéré que dans ce type de session, parfois l'écriture des idées sur des tableaux sera beaucoup plus efficace que l'utilisation des écrans d'ordinateurs, car il est plus intéressant que chaque participant puisse regarder l'ensemble des idées produites.

#### B) Interview

La deuxième méthode d'élicitation des exigences utilise les interviews. Cette méthode est très répandue dans le milieu industriel, car son application exige peu de temps contrairement à la séance de réflexion présentée ci-dessus, car la plupart des personnes qui l'utilisent sont des spécialistes d'analyse commerciale ou des ingénieurs des exigences déjà familiers avec ce type de méthode.

### 3.1.5. L'analyse des exigences

Après l'exécution du processus d'élicitation, il faut lancer le processus d'analyse des exigences en étudiant l'ensemble des exigences soumises par les parties prenantes afin de les analyser, les compléter, les trier, les tracer, éliminer l'ambiguïté et les redondances entre exigences [MAC-01]. L'analyse va aboutir à un document cohérent qui sera présenté en langage naturel (avec parfois des diagrammes UML).

La spécification présentée dans ce document définit complètement le problème auquel les activités de conception devront apporter une solution. Son importance est capitale car elle engage directement la quasi-totalité du coût du système. C'est souvent à ce niveau que le projet joue un rôle en termes de rentabilité pour le maître d'œuvre, et en termes de satisfaction pour le maître d'ouvrage. Les échecs au niveau du projet sont le plus souvent dus à une spécification non stables et non validées conduisant à des nombreuses remises en cause. Les échecs au niveau de la mise en œuvre sont presque toujours dus à une spécification inadéquate et à une mauvaise exécution du processus d'analyse des exigences.

Enfin, ce processus est le processus le plus critique des processus de l'IS car il conditionne tout le cycle de développement du système. C'est à ce niveau qu'il faut détecter la majorité des erreurs faute de quoi la suite du développement serait compromise. Ainsi, plus la qualité de ce processus sera prise en considération plus la qualité du produit sera améliorée.

### 3.1.6. La formalisation des exigences

Le processus de formalisation des exigences est exécuté afin de donner une solution satisfaisant l'ensemble des exigences soumises par les parties prenantes. Au cours de ce processus, la seule question qui prime est "Que doit faire le système ?" La phase d'analyse produit un modèle du système répondant exactement aux exigences du produit à développer.

En effet, une exigence peut être décrite par de nombreux modèles. Par principe, une exigence peut être satisfaite par plusieurs technologies. Or, elle n'a pas la même signification pour tous les métiers. Par exemple, pour le métier logiciel les développeurs ont développé des représentations formelles basées sur des notations mathématiques (Z, B, VDM, RAISE). Par contre, dans d'autres domaines comme celles de l'électricité et de l'électronique, on trouve l'utilisation des schémas électroniques (Max+, Orcad), et pour les systèmes temps réel les développeurs et les analystes proposent encore d'autres solutions [SCH-91].

En effet, la notation du modèle est très importante afin que l'équipe de réalisation et les constructeurs puissent comprendre et contribuer facilement au contenu du modèle. Actuellement, on utilise de plus en plus de représentations graphiques pour les modèles. En fait, les représentations graphiques (diagrammes d'UML, data flow diagram, ..) du système doivent être assez rigoureuses pour que les réalisateurs puissent comprendre précisément ce qui est nécessaire.

Les discussions à propos du meilleur modèle d'un système ou de la meilleure solution, sont stériles si les types de contraintes et d'exigences à représenter sont mal connus, Par exemples, les bonnes représentations graphiques (diagrammes UML ou autres) qui ne répondent pas aux exigences spécifiques (ou présentées après l'exécution du processus d'analyse) ne seront jamais des solutions satisfaisantes.

Généralement, un modèle résulte de plusieurs vues. La vue opérationnelle, décrit le niveau des services rendus aux utilisateurs et les conditions d'utilisation et d'exploitation du système. La vue fonctionnelle décrit ce que doit faire le système pour exécuter sa mission en répondant aux exigences opérationnelles, c'est-à-dire les fonctions et leurs performances. En fin la vue physique traduit les contraintes techniques imposées au système, notamment les caractéristiques physiques et les

interfaces avec l'environnement naturel technique et humain. Cette vue apparaît dans les phases avancées de la modélisation.

### **3.1.7. La vérification/ validation des exigences**

L'existence d'une variété de définitions relatives à la vérification et validation des exigences, nous oblige à les préciser. La vérification consiste à vérifier que la conception correspond aux exigences du système, et que l'implémentation correspond à son tour à la conception développée et proposée par les développeurs. Alors le processus de la vérification est intégré aux différentes phases du développement du système. Par contre, la phase de validation met en jeu les parties prenantes (utilisateurs, exploitants, donneur d'ordre, chef de projet, équipe d'analyse système) pour valider les exigences après la réalisation du système prévu par rapport aux attentes utilisateurs, aux contraintes du programme du maître d'ouvrage, aux contraintes du projet et de l'entreprise, aux contraintes externes.

### **3.1.8. La modification des exigences**

Le but de ce processus est de gérer les demandes de modifications, en cherchant les exigences affectées par la demande de modification, quelle partie de conception (implémentation) sera affectée ? Comment établir une étude d'impact de la demande de changement ? Et comment intégrer la demande dans le cycle de développement ?

## **3.2. DEPLOIEMENT**

Les activités précitées (cf. chapitre 3.1.1) ne se retrouvent pas explicitement dans les méthodologies. Il n'en demeure pas moins que le processus doit être exécuté à savoir que le produit à spécifier doit être fabriqué en grande série ou non, tenir compte de son évolution et évaluer quels sont les attributs qui vont changer.

Pour cela nous proposons pour la fiche d'exigence (Template type VOLERE ou autre) d'allouer un prédicat/booléen aux attributs qui peuvent changer (performance, désignation, matériaux, tolérance). Cela va améliorer la flexibilité du système de production et va offrir une nouvelle dimension aux productions manufacturières, par exemple la prévision de l'adaptation de l'usine aux changements futurs.

### 3.3. PROCESSUS DE CONCEPTION

Si on considère la méthodologie CIMOSA, le processus de conception peut être instancié vers la phase de conception.

Ici on considère les justificatifs de conception (design rational) qui permettent de prévoir plusieurs solutions logiques (conception préliminaire au cycle de vie). La solution logique est une caractéristique de la norme EIA-632.

Les critères de choix des solutions logiques permettent de répondre au changement d'exigences.

Si on considère le cas du vélo : la modification d'un élément d'un système ou nouvelle exigence. Le concepteur peut s'accommoder d'une solution ou une autre pour satisfaire l'évolution demandée.

### 3.4. PROCESSUS DE REALISATION

Si on considère la méthodologie CIMOSA, le processus de réalisation peut être instancié vers la phase de mise en œuvre.

L'impact sur la réalisation peut être beaucoup plus difficile. Cependant une exigence modifiée ou ajoutée peut ne pas être satisfaite car ça peut introduire des impacts sur le système de production non prévu pour ce genre d'évolution.

Sur l'exemple du vélo, supposons un retour du client au sujet d'un défaut de conception technique. Ici l'exigence client implique un changement lourd du fait qu'elle impose une revue technique du produit ainsi que des modifications sur la chaîne de production. Par contre, si cela avait été avant la réalisation du produit, cela aurait engendré moins d'impact et de coûts.

### 3.5. PROCESSUS DE VERIFICATION ET DE VALIDATION

Parmi ces processus figure celui de l'analyse de performances. Plusieurs travaux ont permis les mesures d'indicateurs de performance [CLI-2004].

L'idée est de poser la problématique de l'impact du changement des exigences sur la performance. Une problématique similaire a été abordée dans les travaux sur l'impact du changement des exigences sur la sécurité [ELJ-2006].

## 4. INGENIERIE SYSTEME

L'ingénierie système (IS) connue aussi sous le terme anglo-saxon SE (System engineering) est une démarche méthodologique permettant de maîtriser la conception des systèmes et produits complexes. Les pratiques de cette démarche sont répertoriées dans des normes, réalisées à l'aide de méthodes et supportées par des outils (cf. figure 3.3).

Les normes de l'ingénierie système décrivent les pratiques du métier et cela à travers des processus et des activités de manière invariante par rapport aux domaines d'application de l'ingénierie système. Les méthodes, quand à elles, fournissent des démarches techniques dans le but de réaliser ces activités. Elles dépendent des secteurs d'application et résultent de choix industriels. La mise en œuvre des processus et des méthodes s'appuie sur des outils informatisés [SIT-11].

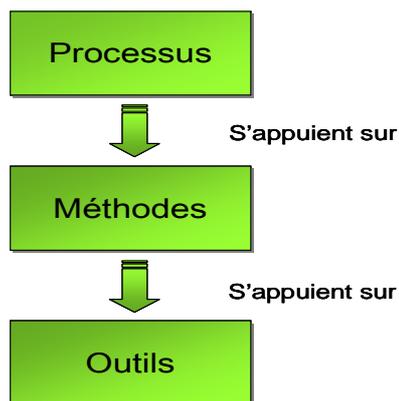


Figure 3.3. Ingénierie système

L'Ingénierie systèmes (IS) est une approche interdisciplinaire qui a défini des concepts sur lesquels il est possible d'établir de nouvelles applications. En particulier les processus collaboratifs et interdisciplinaires pour la résolution des problèmes, basés sur la connaissance, les méthodes et les techniques résultantes des sciences et expériences mises en œuvre pour définir un système satisfaisant à un besoin identifié et acceptable pour l'environnement. Alors la recherche doit offrir la solution équilibrée, sur tous les aspects du problème dans toutes les phases du développement et vie du système. Les concepts d'IS pour les problèmes complexes passent par leur décomposition en problèmes plus limités auxquels on peut apporter une solution [MES-06b, SAH-04].

A défaut de pouvoir associer une définition de l'ingénierie des systèmes unique, il est plus simple de l'identifier par les objectifs à atteindre dans la pratique : (1) la satisfaction des parties prenantes (en répondant à leurs demandes), (2) la recherche de qualité technique, (3) la tenue des délais, (4) la tenue des coûts en respectant le budget alloué.

Parfois, le développement d'une nouvelle technologie souffre des processus et de méthodes incorrectes utilisés durant le développement du système. Pour cela, les développeurs des systèmes complexes où émergent les nouvelles technologies utilisent des normes les aidant à accomplir leurs missions durant le développement des systèmes complexes. [ELJ-06]

#### 4.1. NORMES D'IS

L'ingénierie système repose sur plusieurs normes, nous n'en mentionnerons que quelques unes d'entre elles. Trois sont très utilisées. Il s'agit de l'IEEE 1220-1998 [STA-IEEE], l'EIA-632-1998 [STA-EIA] confirmé en 2003 et l'ISO 15288-2002 [STA-ISOa]. Suivant les domaines, plusieurs démarches ont été développées à partir de ces trois normes de référence et dans chaque domaine, tel que celui du spatial, les démarches sont guidées par les modèles de maturité représentés notamment par le CMMI [CMMI 02].

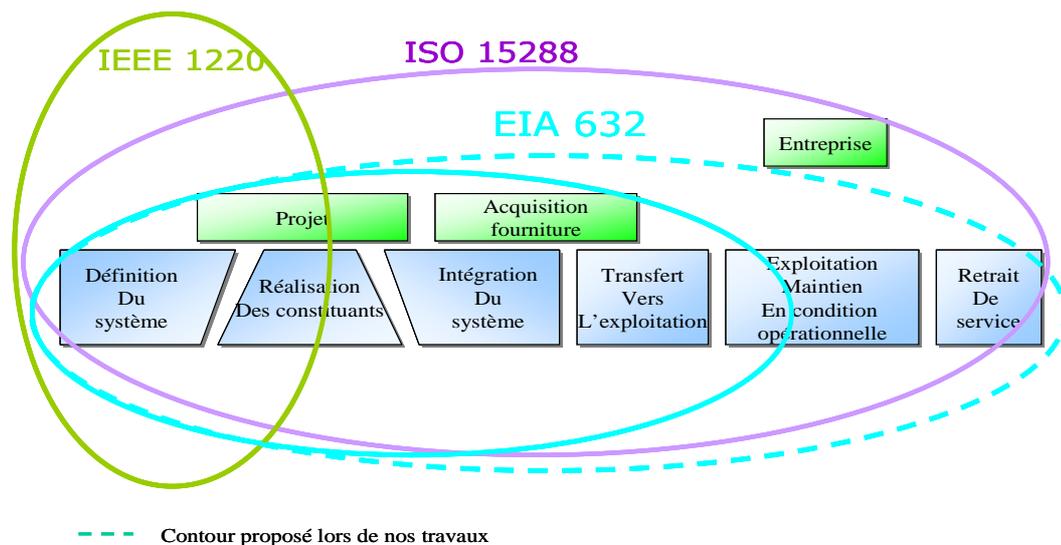


Figure 3.4. Trois normes vues par l'IS

Trois normes générales d'ingénierie système décrivant les processus du métier d'IS sont actuellement disponibles [SIT-11]. Elles recouvrent des champs différents, et différentes partie du cycle de vie du produit (cf. figure 3.4).

- IEEE 1220 : Standard for application and Management of the Systems Engineering Process. Issue de la norme militaire MIL STD 499B, cette norme de l'IEEE, dont la version initiale date de 1994, se focalise sur les processus techniques d'ingénierie système allant de l'analyse des exigences jusqu'à la définition physique du système.
- EIA 632 : Processes for System Engineering. Cette norme complète les processus techniques de définition du système en couvrant la réalisation des produits jusqu'à leur mise en service (transfert vers l'utilisation). De plus, elle incorpore les processus contractuels d'acquisition et de fourniture.
- ISO 15288 : Systems Engineering – System Life-Cycle Processes. cette norme étend les processus techniques à tout le cycle de vie du système (elle couvre ainsi les processus d'exploitation, de maintien en condition opérationnelle et de retrait de service).

Parmi ces différentes normes d'ingénierie système, notre choix s'est porté sur la norme EIA632 très prisée par les industriels car elle se distingue par ses processus. Elle est prévue pour permettre à une entreprise de renforcer sa compétitivité sur les marchés par l'ingénierie et la production des systèmes de qualité, en livrant les produits à temps avec de faibles coûts. Ainsi, le but est de conceptualiser, de créer et de réaliser un système considéré comme un ensemble de produits, ainsi que les produits le réalisant [STA-EIA].

Les trois normes (cf. figure 3.4), que nous avons cité englobent différentes partie du cycle de vie. Le contour en pointillé est celui que nous proposons comme cycle de vie englobé par la norme EIA 632. C'est celui que nous allons développer plus loin dans le paragraphe (4). Il a également fait l'objet d'approche exposée dans [MES-06b].

### 4.1.1. Définitions d'un système

Avant d'aller plus loin nous allons tout d'abord faire un parcours rapide des différentes définitions du terme 'système' que l'on trouve dans la littérature (Ingénierie système) ou « System Engineering ». Pour cela, nous avons pris les trois normes majeures, IEEE 1220, EIA 632 et ISO 15288.

### 4.1.2. Définition 1

Dans la norme l'IEEE-1220-1998, un système est un ensemble ou un arrangement d'éléments [personnes, produits (matériels et logiciels) et processus (moyens et aménagements, équipements, matériels et procédures)] qui sont en relation et dont le comportement répond aux besoins des clients et aux besoins opérationnels. Ils permettent le maintien des produits pendant tout le cycle de vie [STA-IEEE].

Cette vision autorise une décomposition d'un système en sous-systèmes qui peuvent être également considérés à leur tour comme des systèmes à part entière et ainsi de suite.

### 4.1.3. Définition 2

La norme ISO 15288, définit un système d'intérêt (system of interest) comme un système produit par des humains, créé et utilisé pour fournir des services dans des environnements définis pour le bénéfice d'utilisateurs et d'autres parties prenantes [SIT-2].

Ces systèmes sont composés d'un ou plusieurs éléments matériels, logiciels, processus associés, procédures, installations et entités naturelles. En pratique, ils sont pensés comme des produits ou des services. Ce système d'intérêt peut être en interaction :

- d'une part, avec d'autres systèmes qui appartiennent à l'environnement opérationnel du système d'intérêt,
- et d'autre part, avec des systèmes support (enabling systems) qui n'appartiennent pas directement à cet environnement

#### 4.1.4. Définition 3

La norme EIA632 définit le système comme étant un ensemble de produits nécessaires à la réalisation d'un objectif ou d'une fonction. Un système est composé de produits nécessaires à la réalisation de la fonction opérationnelle, appelés « end product » et de produits nécessaires à sa réalisation, sa mise en service, son maintien et son retrait de service. Ils sont appelés (« enabling products ») [STA-EIA] et que nous appellerons tout au long de ce mémoire « Produits Capacitants ».

#### 4.1.5. Définition 4

Sur le site de l'INCOSE [SIT-2] un système est défini comme « *une construction ou une collection de différents éléments qui produisent ensemble des résultats non accessibles par les éléments seuls. Les éléments ou parties peuvent inclure des personnes, du matériel, du logiciel, des installations, des politiques et des documents, c'est-à-dire tout ce qui est requis pour produire les résultats au niveau système. Les résultats incluent les qualités, les propriétés, les fonctions, le comportement et les performances. La valeur ajoutée par le système pris comme un tout, au delà de celle procurée indépendamment par les parties, est principalement créée par les relations entre parties, c'est-à-dire par la façon dont elles sont interconnectées* » (Rechtin 2000).

## 5. DEPLOIEMENT A L'AIDE D'UNE NORME

L'objectif de l'EIA-632 [STA-EIA], est d'être la norme la plus populaire, la plus efficace et la plus utilisée dans le domaine de l'ingénierie systèmes. En effet, une telle norme a été déployée principalement dans des industries de l'aéronautique, de production et militaires.

Selon de nombreuses expériences de projets industriels échoués [SAH-04a], il est intéressant de noter que parfois la cause de l'échec est une négligence des produits capacitants et qui aident à construire le système désiré car la plupart des parties prenantes se focalisent sur le développement des produits finaux.

En effet, l'intérêt de développer le système en suivant la norme industrielle (EIA-632) est d'explorer un ensemble de processus qui sera appliqué pour le développement des produits finaux (cf. figure 3.5) et de décomposer le système en produits finaux et en produits capacitants (cf. figure 3.6).

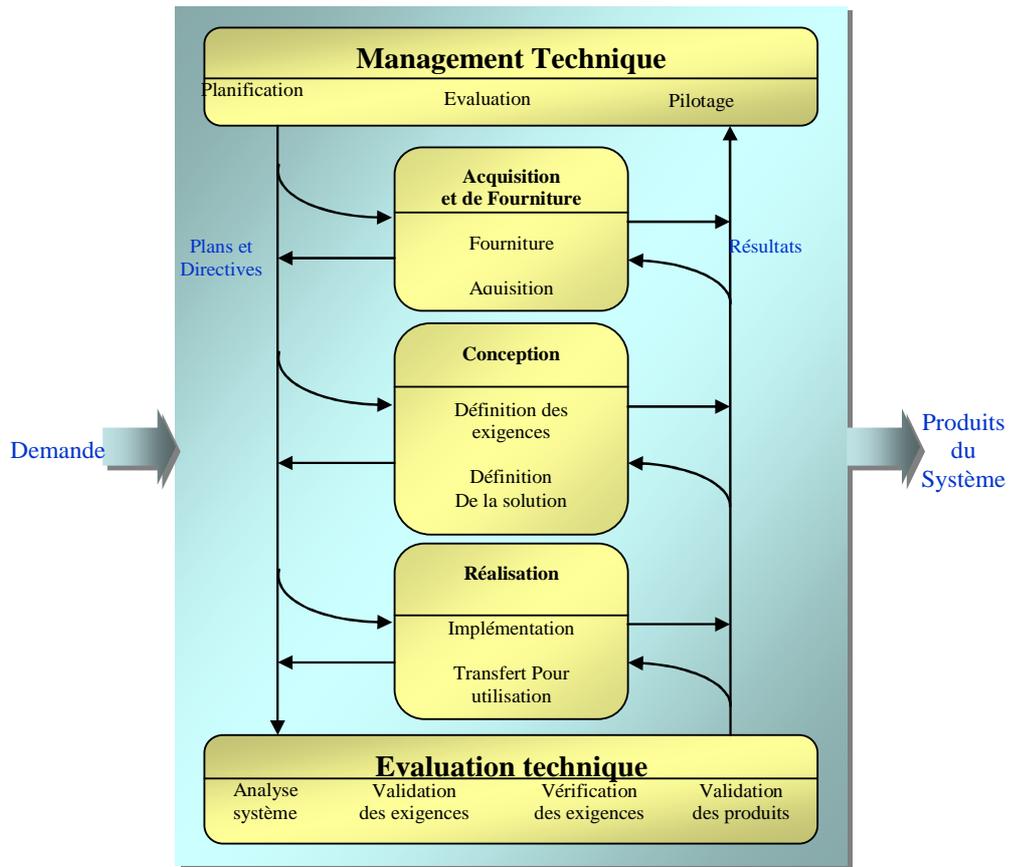


Figure 3.5. Processus pour le développement des produits finaux

Dans le cadre de l'EIA-632, les produits finaux sont une part d'un système qui réalise des fonctions opérationnelles et qui est livrée à l'acquéreur. Les produits capacitants<sup>9</sup> (cf. figure 3.6) sont des éléments qui fournissent les moyens de mettre en service un produit final, de le maintenir en service ou le retirer. Les produits capacitants seront utilisés pour exécuter l'ensemble des processus associés au développement, à la production, au déploiement, à la formation des opérateurs afin d'utiliser les produits finaux, et à la mise au rebut des produits dès qu'ils ne sont plus utilisables. [ELJ-06]

<sup>9</sup> Les produits capacitants exécutent les processus associés ou les fonctions non-opérationnelles d'un système. En fait, les produits capacitants sont les produits qui permettent d'avoir un produit final, et ils peuvent être utilisés par plusieurs produits finaux.

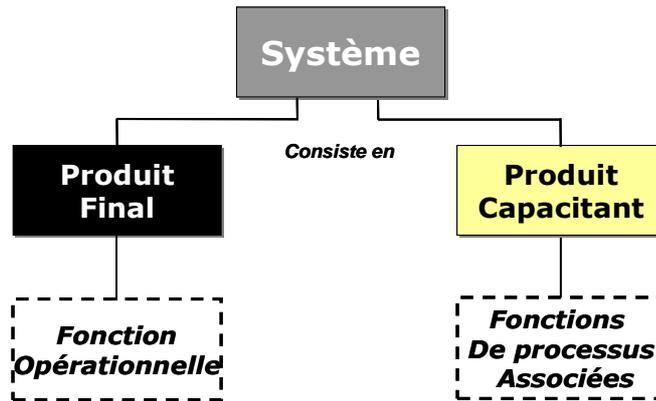


Figure 3.6. Le système décomposé en produit final et produit capacitant

La figure (cf. figure3.7) présente les sept produits capacitants définis par la norme : le développement du produit final, la production du produit final, le test du produit final, le déploiement du produit final, la formation des opérateurs pour pouvoir utiliser le produit final, son support et son retrait éventuel (recyclage).

Cette norme introduit une notion très intéressante qu'on ne trouve pas dans les autres normes, celle de «building block» (blocs de construction) (cf. figure 3.7). Nous nous appuyerons sur cette notion dans le cadre de nos approches de conception et de représentation systèmes.

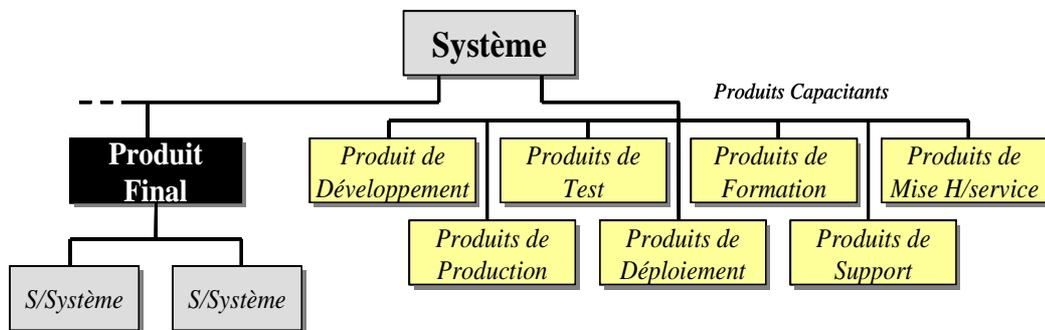


Figure 3.7. Un module dans le cadre de l'EIA-632

Enfin, l'infrastructure pour le développement agile se fonde fortement sur ce que l'on appelle souvent les problèmes de la logistique, mais en réalité, ce ne sont que les produits capacitants vus par l'EIA632. La structure de décomposition entre produits finaux et produits capacitants proposée par cette norme, aidera les compagnies et les experts à mieux améliorer leurs processus d'ingénierie des exigences [BUR-98, ELJ-06].

## 5.1. Processus de l'EIA-632

Un processus est un ensemble de tâches interdépendantes qui transforment des entrées en des sorties. L'EIA-632 distingue cinq catégories de processus d'ingénierie comme le présente le schéma (cf. figure 3.5). Pour chacune de ces catégories et chaque processus défini au sein d'une catégorie, le standard définit des exigences qui doivent satisfaire les processus utilisés. Ils sont applicables au développement de tous les produits quelle que soit leur place dans la structure hiérarchique du système ou la phase du cycle de vie défini par l'entreprise.

Après la décomposition du système en produits finaux et produits capacitants (cf. figure 3.6), les développeurs obtiennent une hiérarchisation selon plusieurs niveaux. Les processus présentés dans la figure (cf. figure 3.7), seront utilisés à chaque niveau de hiérarchisation des produits finaux pour les spécifier, les modéliser et enfin les développer. Par la suite, nous détaillerons les cinq (5) processus majeurs pour montrer leur interaction dans le but de contrôler le développement des produits finaux dans le cadre de l'EIA-632 [ELJ-06].

## 5.2. Processus d'acquisition et de fourniture

Ce processus sera utilisé par le développeur pour établir un accord avec une autre partie prenante afin d'accomplir ou réaliser un travail spécifique et de délivrer ou recevoir les produits attendus. En fait, le processus d'acquisition sera utilisé par le développeur en agissant en tant qu'acquéreur pour établir un accord avec le fournisseur.

## 5.3. Processus du management

Les processus du management technique sont utilisés pour planifier, évaluer et contrôler les efforts techniques requis afin de satisfaire l'accord établi. Ils sont divisés en trois processus : processus de planification, processus de management et processus de pilotage.

- Processus de planification. Ce processus est employé dans le but de soutenir la prise de décision de l'entreprise et des différents projets pour préparer les plans techniques nécessaires.

- Processus d'évaluation. Le processus d'évaluation est employé pour : (1) déterminer le progrès de l'effort technique vis-à-vis des exigences du projet (2) Evaluer l'avancement du développement.
- Processus de pilotage. Le processus de pilotage sera employé pour : (1) contrôler les sorties ou livrables venant du processus d'acquisition et de fourniture, du processus de conception, du processus de réalisation, et du processus d'évaluation technique, (2) surveiller les écarts et les variations du plan et les anomalies vis-à-vis les exigences (3) distribuer l'information requise et demandée (4) assurer les communications nécessaires.

#### 5.4. Processus de conception

Ce processus, basé sur l'EIA632 sera utilisé pour convertir les exigences convenues avec l'acquéreur en un ensemble de produits réalisables qui remplissent les exigences de l'acquéreur et des autres parties prenantes. Il est divisé en processus de définition des exigences et processus de définition de la solution :

- Processus de définition des exigences. Les entrées du processus de définition des exigences sont de deux types : (1) les exigences venant du contrat (2) les exigences venant d'autres processus tels que les plans techniques. Ce processus est utilisé pour obtenir les exigences techniques du système (Technical Requirements). Ces exigences représentent une description raisonnablement complète du problème qui doit être résolu pour fournir un ensemble de produits finaux dans le but de répondre aux exigences de l'acquéreur et des autres parties prenantes. Parfois, ce processus sera incomplet dans le cas où il y a un changement du contrat, ou par l'identification d'autres exigences de la part des parties prenantes qui affectent la conception de produits ou contraignent autrement l'effort technique exigé du nouveau système.
- Processus de définition de la Solution. Le processus de définition de la solution est employé pour obtenir une solution acceptable de conception d'un produit final. La solution proposée doit satisfaire : (1) les exigences techniques du système provenant du processus de définition des exigences, (2) les exigences techniques dérivées de ce même processus.

## 5.5. Processus de réalisation

Le processus de réalisation du produit final est utilisé pour convertir les exigences définies et spécifiées après le processus de conception en produit final vérifié ou en un ensemble de produits finaux selon les exigences du contrat. Dans ce processus, nous trouvons des sous-processus qui sont le processus d'implémentation et le processus de transfert vers l'utilisation [ELJ-06] :

- Processus d'Implémentation. Le premier but de ce processus est la transformation de la solution choisie par la conception en ensemble de produits. Puis les intégrer dans le but de répondre aux exigences définies après l'exécution du processus d'acquisition et de fourniture.
- Processus du transfert pour l'utilisation. Après l'implémentation des produits finaux, il faut exécuter le processus de transfert vers l'utilisation, qui est la livraison des produits aux destinataires appropriés. Ceci sera effectué dans les conditions exigées afin de mettre les produits à la disposition de l'acquéreur et des usagers.

## 5.6. Processus d'évaluation technique

Il ne faut pas confondre ce processus et le processus présenté dans la partie management. En fait, le processus d'évaluation technique doit être intégré dans les autres processus d'ingénierie des systèmes. Il est décomposé en quatre processus: analyse système, validation des exigences, vérification du système et validation de produit final.

- Processus d'analyse système : l'analyse systèmes est utilisée pour: (1) fournir une base rigoureuse à la prise de décisions techniques et la résolution de conflits entre exigences (2) déterminer le progrès dans la satisfaction des exigences techniques du système et celles dérivées (3) gérer les risques (4) s'assurer que toutes les décisions seront prises seulement après une évaluation des effets sur le coût, le planning, et les risques durant le développement ou la réingénierie du système.
- Processus de validation des exigences : la validation des exigences est un processus critique pour la réussite du développement et la réalisation des produits finaux d'un système. Les exigences sont validées lorsqu'il est

certain que l'ensemble des exigences considérées décrit les exigences et les objectifs d'entrée de telle sorte que les produits du système résultant peuvent remplir leurs exigences et leurs objectifs. Le processus de validation des exigences aide à s'assurer que les exigences sont nécessaires et suffisantes pour créer des solutions de conception capable de satisfaire le critère de sortie de la phase du cycle de vie dans lequel se déroule l'effort d'ingénierie ou de réingénierie.

- Processus de vérification des exigences : le processus de vérification des exigences du système est utilisé pour s'assurer que : (1) la solution de conception est cohérente avec les exigences source; (2) les produits finaux à chaque niveau du système durant la phase ascendante (la phase de réalisation des produits finaux après qu'on a terminé la phase descendante qui est la phase de spécification) répondent à leurs exigences spécifiées.
- Processus de validation des produits : le processus de validation des produits finaux présentés dans la structuration du système, aide à s'assurer que les produits finaux à livrer ou qui ont été livrés répondent aux exigences des acquéreurs qui étaient convenues en entrée des processus de conception de systèmes et aux exigences techniques présentées dans le processus de conception.

## **6. L'APPROCHE DE L'IS POUR LA COORDINATION DES SYSTEMES DE PRODUCTION**

L'intérêt croissant accordé à la coordination de l'ingénierie est approfondi par divers travaux. La coordination en termes de processus de conception améliore la transparence au vu de la complexité de gestion des changements et l'évolution imposée par la réactivité. On a vu dans la partie précédente qu'en s'appuyant sur norme IS la structuration réduit la complexité. Sa propriété récursive permet un raffinement et donc un développement incrémental visible.

L'intérêt supplémentaire réside dans le fait que l'IS englobe également tous les processus (logistique, gestion de projet, etc...)

L'IS apporte une dimension de transparence dans le cadre de l'évolution des exigences. Pour cela, on propose dans le chapitre suivant d'étudier le lien produit et

produit capacitant (enabling product, produit support) et comment proposer une démarche descendante pour la gestion du changement. Le cinquième chapitre sera consacré à l'étude d'impact de l'évolution des exigences sur le modèle de traçabilité associé et les modèles d'information.

## 7. CYCLE DE VIE DU PRODUIT DANS L'IS

Deux cycles de vie s'entrecroisent dans l'entreprise : le cycle de vie de l'information et le cycle de vie du produit.

Le cycle de vie de l'information, quant à lui, doit s'articuler sur celui du produit : statut reflétant la maturité des versions successives (brouillons, bon pour approbation, bon pour consultation, bon pour exécution, à archiver, obsolète/à détruire...).

Le cycle de vie des produits apporte une vision dynamique des produits. Cette vision reflète bien la vie réelle de l'entreprise par la notion de processus et de maturité des produits (quelle étape doit être passée, quand, à quelle condition, par qui ?).

Le cycle de vie d'un produit regroupe l'ensemble des phases par lesquelles passe généralement un produit ( période de temps entre l'émergence du besoin d'un nouveau produit et son retrait). Le cycle de vie comprend une phase de définition, une phase de développement, modifications, Industrialisation, Simulation, une phase de service pouvant parfois être suivie d'une phase de relance ou de recyclage. Les durées respectives des différentes phases sont très variables selon les produits et sont aussi décomposées selon la politique des entreprises.

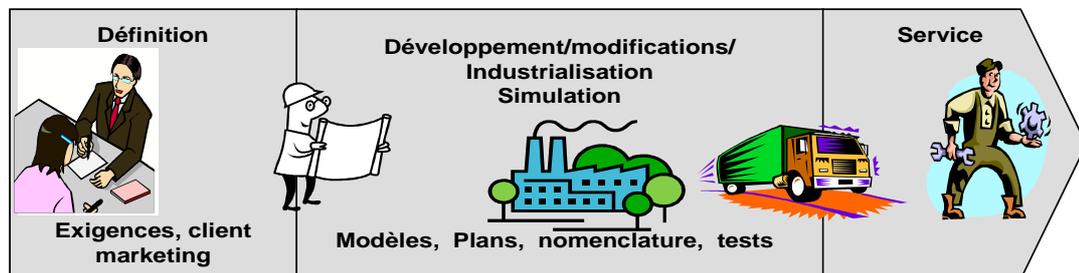


Figure 3.8. Cycle de vie du produit

Chaque produit à l'intérieur d'une structure de système a son propre cycle de vie. La ligne de produits qu'il représente est développée et produite pour satisfaire les exigences de l'acquéreur. Il est ensuite inséré dans le marché, pour répondre à une requête établie par l'accord ou pour la commercialisation. Suite à son introduction, il existe un stade où la croissance du produit le rend viable sur le marché. Elle est suivie d'une phase de maturité où le produit n'est plus en forte demande, où les produits concurrents prennent des parts au marché, ou bien le produit ne parvient plus à réaliser son potentiel de marché et la demande se stabilise et commence à diminuer. Enfin, les ventes du produit chutent, le produit est réduit et n'est plus commercialisés ou distribués. Tous les produits sont soumis à ce cycle de vie [EIA-632].

Les processus de la norme EIA632 sont applicables en tout point d'un cycle de vie du produit. Ceci est illustré à travers la figure (cf. figure 3.8) qui montre comment on peut déployer les processus de la norme à travers toutes les phases du cycle de vie du produit. ces produits capacitants qui participent à l'obtention du produit final sont développés en parallèles.

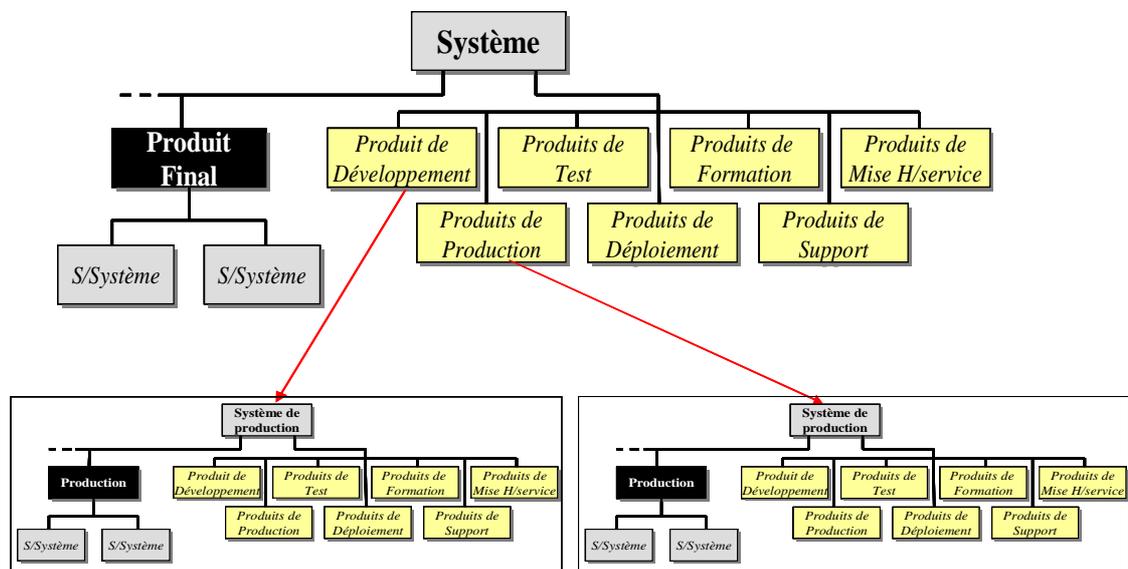


Figure 3.9. Structure du système à travers l'EIA632

Du point de vue ingénierie système, l'entretien est perçu comme un nouveau sous-système, comme le montre la figure (cf. figure 3.10).

La structure arborescente résultant de la décomposition des processus, comme indiqué, donne un aperçu sur le produit final (ici l'entretien), où on aperçoit la

maintenance en produit final et qui sera obtenue à travers l'application des processus de l'EIA632 et l'utilisation des produits capacitants tels que [MES-06c] :

- les scénarios et stratégies de maintenance ;
- les équipes et outils de maintenance ;
- la GMAO et la sûreté de fonctionnement ;

La généralisation de cette vue [CHO-02] sera d'une part les produits finaux. Les produits réalisant les fonctions opérationnelles se composent :

- d'un processus générique : description formelle des activités à mener. Cette description s'articule autour des concepts généraux de l'ingénierie des exigences (capture, analyse, validation/vérification, allocation à une architecture),
- un ensemble de méthodes support à l'application du processus matérialisé par un ensemble de règles et de recommandations,
- un ensemble d'outils assurant une mise en oeuvre progressive.

Les produits capacitants concernent [CHO-02] :

- Le développement : Expression de besoin, Plan de développement/déploiement, scénarios d'utilisation, stratégie de développement, plan de validation...)
- La production : Relation avec le fournisseur d'outil principalement, réalisation de macros..., gestion de configuration des versions d'outils...
- Les tests et d'évaluation : test de recette, etc. .
- La formation : Supports de formation et de communication (FAQ, Intranet, lettre aux utilisateurs...)
- Le déploiement : procédures d'installation, stratégie de déploiement et des moyens associés.
- Le support : Définition et mise en oeuvre d'une nouvelle fonction de support à l'utilisation de la méthode et des outils associés : les « requirements Engineers », forum utilisateurs,...

- Le retrait de service : stratégie de migration ou de changement d’outil pour cause d’obsolescence,...

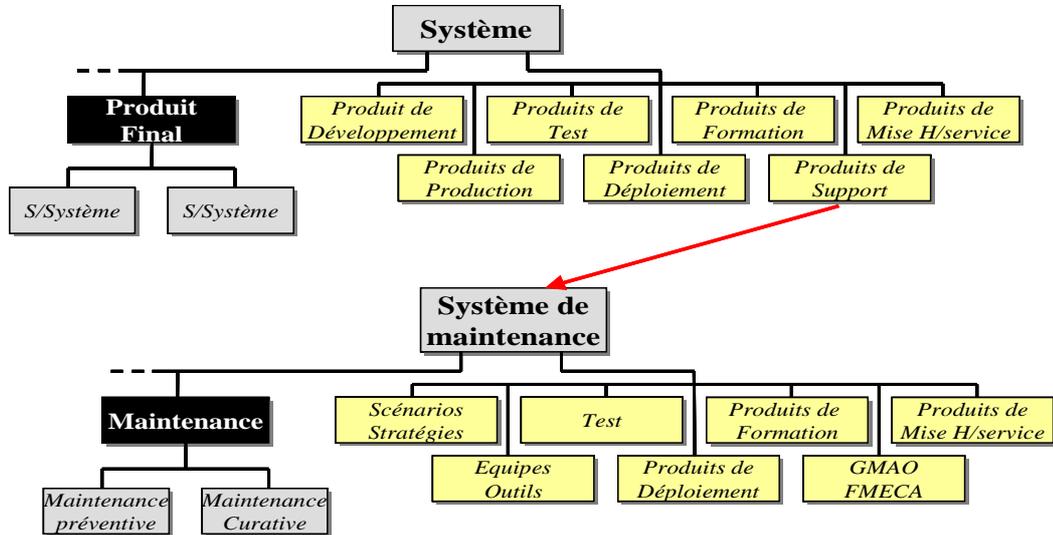


Figure 3.10. Système de maintenance à travers l’IS

Pour mieux illustrer cette approche d’IS nous l’appliquerons au vélo la décomposition du système en produit final est donnée par la figure (cf. figure 3.11).

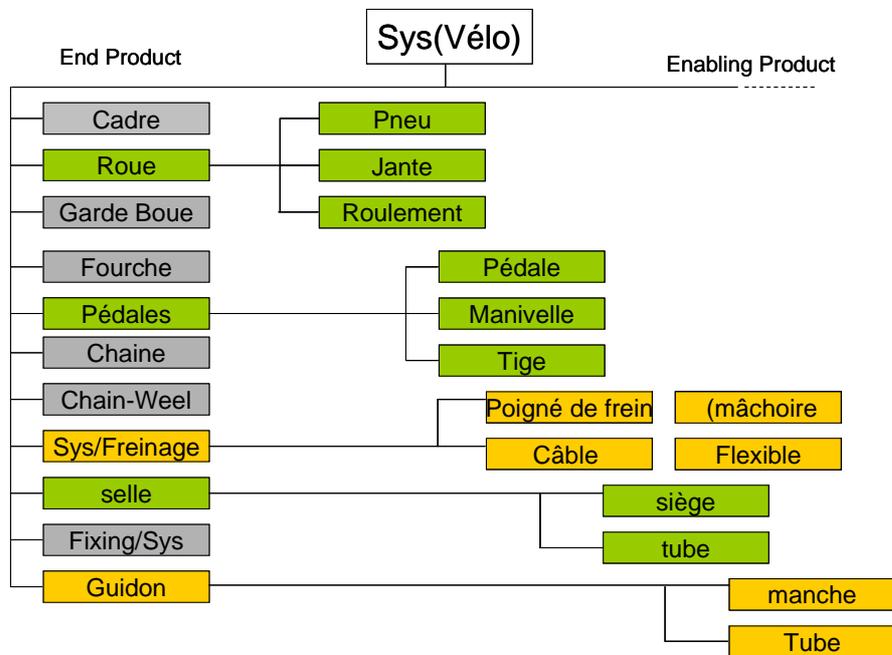


Figure 3.11. Décomposition du vélo

La figure (cf. figure 3.12) présente le système de production. L'étape qui suit établit le lien entre le produit et la production.

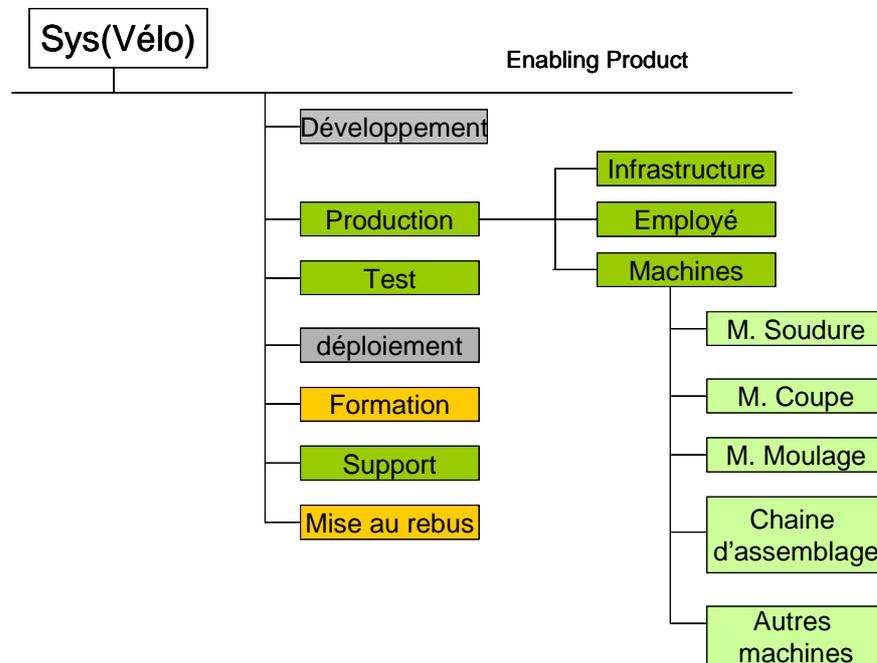


Figure 3.12. Décomposition de la production

## 8. CONCLUSION

Ce chapitre a été consacré spécialement à l'ingénierie système et la présentation de quelques normes. Surtout trois d'entre elles, en premier lieu, il convient de souligner que ces trois normes (IEEE 1220, l'ISO 15288 et l'EIA 632) ne couvrent pas les mêmes phases du cycle de vie d'un système et présentent différentes définitions du système.

L'EIA-632, par une série d'innovations remarquables (définition du système et introduction du concept de building block), et par une intégration nouvelle des processus, propose un nouveau cycle d'ingénierie des processus d'ingénierie et par là, offre une nouvelle génération des normes d'ingénierie. Quoique cette norme ne spécifie ni la façon détaillée de réaliser les processus d'ingénierie d'un système ni les méthodes et les outils que le développeur devrait utiliser pour réaliser les processus. Pourtant, elle prévoit ce que le développeur devra sélectionner et définir comme méthodes et outils qui seront applicables au développement et qui sont cohérents

avec la politique et les procédures de l'entreprise. En d'autres termes, elle ne spécifie pas les moyens de réaliser ces processus mais les exigences que doivent satisfaire les réalisations des processus généraux. Elle ne spécifie pas non plus le nom, le format, le contenu, la structure et le support de la documentation.

Après avoir montré que la norme pouvait dépasser le cycle de vie couvert initialement, notre défi sera l'établissement du lien entre produit final et les produits capacitants qui n'apparaît pas. ce qui explique l'introduction de l'ingénierie des exigences à travers l'étude de la volatilité des exigences.

L'augmentation du coût de correction des erreurs au cours du développement du système et la volatilité des exigences sont parmi les problèmes qui nous obligent à travailler dans le contexte de l'ingénierie système et de l'ingénierie des exigences [JUR-02].

Le chapitre suivant établit le lien entre le « Produit final » et le « Produit capacitant ». La démarche suivie, reposera sur la norme EIA632.

# Chapitre IV

---



# Chapitre

# 4

---

## P

# RODUIT FINAL ET PRODUIT CAPACITANT

### 1. INTRODUCTION

Après avoir présenté la norme EIA632 et notre vision du système à travers elle, nous aborderons la décomposition du système en produit final et produit capacitant. Faire une telle distinction pose la question du lien entre les deux parties. La norme EIA 632 ne fait aucune référence explicite à ce type de lien.

Ce chapitre aura donc pour but d'étudier ce lien et de présenter les processus associés. Pour cela, nous avons pris le concept PLM afin [MES-07a].

Plus spécifiquement nous nous intéressons à l'intégration du PLM dans un cadre d'IS et non au déploiement du PLM. Actuellement l'IS offre la possibilité de lier les développements du produit capacitant et du produit final dans un cadre unifié. PLM offre de telles solutions d'intégration pour la conception et l'implémentation de ce lien. Notre travail fait partie du déploiement de l'IS. Pour une première application notre travail porter sur deux produits capacitants: le premier concerne la maintenance et le deuxième la production.

Donc il consistera à :

- Appliquer l'IS pour le déploiement du PLM.
- Utiliser le PLM pour assurer le lien entre le produit final et le produit capacitant.

Dans un premier temps, le PLM sera perçu comme un sous-système dans la fabrication et aussi comme un outil pour le concept de lien dans l'IS [MES-07a].

## **2. LE PLM COMME OUTIL DE TRACABILITE**

Avant de pouvoir développer les éléments impliqués dans le produit (sous-systèmes), il est nécessaire pour le concepteur de prendre en compte l'ensemble du système (produit final et produits capacitants).

La démarche va s'appuyer sur un certain nombre de technologies, notamment, des technologies de l'information et de la communication. Ces technologies se traduisent souvent par des : infrastructures de communication (réseaux étendus, réseaux locaux,), architectures logicielle et matérielle (technologies orientées objet, ordinateurs), systèmes d'information (outils d'échange de données, bases de données techniques), logiciels applicatifs (outils de simulation, outils de XAO (CAO/CFAO, gestion de production), outils de simulation et de gestion des processus ("workflow"). Ainsi la démarche doit reposer sur des normes et des processus bien définis.

### **2.1. DEFINITION DU PLM**

Apparu à la fin des années 90, le concept désigné par l'acronyme « PLM » [FIG-05] (pour « Product Lifecycle Management ») que l'on peut traduire en français par « Gestion du Cycle de Vie des Produits » a succédé à celui de « PDM » (« Product

Data Management », ou « Gestion de données de produits ») pour tracer les informations des produits de l'industrie [BOC-05]. Un parcours sur Internet de « Product Life Cycle Management» décèle plus de 1 200 000 liens et informations diverses... Cette surinformation mérite certaines mises au point.

Une démarche PLM efficace doit permettre de minimiser les modifications des procédés existants, de réutiliser des procédés et des équipements existants, de maintenir une normalisation (standardisation) entre les procédés dans les différentes usines ainsi que d'améliorer la propagation des modifications dans les usines. La gestion des procédés et des équipements de fabrication (l'usine numérique) est donc stratégique pour faire la liaison entre le développement du produit et l'exécution de la production (MES). Il devient ainsi essentiel de suivre une politique dans le but de gérer une nomenclature des procédés en parallèle de la nomenclature d'ingénierie du produit. Selon le « CAD magazine », pour "n" données produit il y a 100 fois plus de données de fabrication (données d'industrialisation des pièces [SIT-6], données d'industrialisation des assemblages, données qualité). Ceci justifie, si besoin, une démarche de type PLM pour la production.

Un des principaux enjeux pour les entreprises manufacturières est donc de gérer l'industrialisation d'un produit en parallèle de sa conception, ce qui est au cœur de notre recherche.

## **2.2. L'acronyme PLM**

Il est intéressant de se pencher sur l'acronyme PLM. Selon l'ouvrage de [DEB-04] «PLM la gestion collaborative de cycle de vie des produits», l'entreprise vit par les produits ou services qu'elle procure à ses clients. Cette évidence mérite d'être rappelée puisqu'elle justifie l'énergie et les ressources passées à améliorer les cycles de vie de produits. Dans le même temps elle justifie une démarche de type PLM, qui est le cadre du PLM.

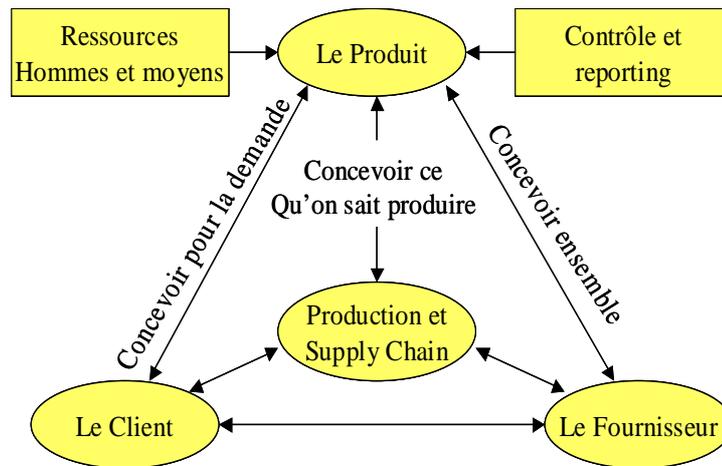


Figure 4.1. Le produit, pilier de l'entreprise [DEB-05]

Comme le montre la figure (cf. figure 4.1), le produit est au cœur de l'entreprise et surtout partagé par les différentes structures à travers l'échange d'information et de données.

### 2.3. Définitions

La traduction littérale du Product Life-Cycle Management est la Gestion d'un produit tout au long de son cycle de vie. Ce cycle de vie comprend le concept initial à partir des exigences clients, le développement intégrant le développement des moyens de production (industrialisation produit/process), la vie opérationnelle et la fin de vie (éventuellement le recyclage). [DEB-04]

Pour l'analyste *CIMData*, le PLM se définit comme : « Une approche stratégique d'entreprise, qui applique un ensemble de solutions pour soutenir dans un mode collaboratif la création, la gestion, la dissémination et l'utilisation de l'information de définition des produits, en entreprise étendue, de la conception à la fin de vie, en intégrant les personnes, les processus, les systèmes et l'information ».

Pour le *PLMIG* (PLM Interst Group), association européenne d'utilisateurs, d'universités et d'éditeurs de solutions, le PLM comprend la recherche, la gestion des exigences client, le développement produit : CAO, la FAO, la simulation, le prototypage rapide et virtuel, l'ingénierie concourante, la conception produit/process, le sourcing de composants, l'usinage à commande numérique, la collaboration par Internet avec clients et fournisseurs.

Le PLM peut être vu comme un ensemble d'outils et de moyens tels que :

- Outils de création/production/simulation de données de produit (CAO, gestion de document...)
- Moyens de collaboration, gestion et partage des informations relatives au produit.

## 2.4. Le PLM élément d'innovation

Afin de répondre aux besoins de leurs clients, les entreprises ont recours à l'innovation ainsi qu'à la compétitivité, qualité, flexibilité, réactivité et au respect des engagements.

Cela implique :

- des innovations dans l'organisation, les processus et les méthodes de travail,
- de nouvelles organisations industrielles, permettant aux entreprises de toute taille de disposer des compétences nécessaires,
- le développement de nouvelles compétences et l'intégration numérique des filières industrielles : conception, production et support ...

De plus, il est aujourd'hui reconnu que les nouvelles compétences ne peuvent désormais se concevoir qu'avec un usage intensif du numérique. En particulier depuis l'accès à Internet : les nouveaux modes de travail deviennent un impératif stratégique et concurrentiel qui ne s'applique donc plus aux seules entreprises virtuelles (appelées click and mortar), mais également aux entreprises traditionnelles (dites brick and mortar, faites de brique et de ciment).

Dans les entreprises industrielles, c'est dans le domaine du PLM (Product Lifecycle Management) que se situe la principale source d'innovation et de compétitivité. Grâce au partage de la définition du produit par les différents métiers et à la prise en compte dès la conception des contraintes de la production et du support, on observe :

- une réduction du cycle de développement et de mise sur le marché par exemple (6 à 18 mois pour les voitures),
- l'amélioration de la qualité de conception,

- l'intégration dès la conception des processus de production et de support [MES-07],
- la réduction des cycles et des coûts d'assemblage.

## 2.5. LE PLM comme produit final

Lors de la conception des systèmes, un aspect essentiel émerge : la séparation des préoccupations entre le produit final et les produits qui permettent d'avoir le produit final, entre autres les produits capacitants. Le PLM est vu comme un sous-système, donc aura la même décomposition du système selon la définition de l'IS [MES-07a].

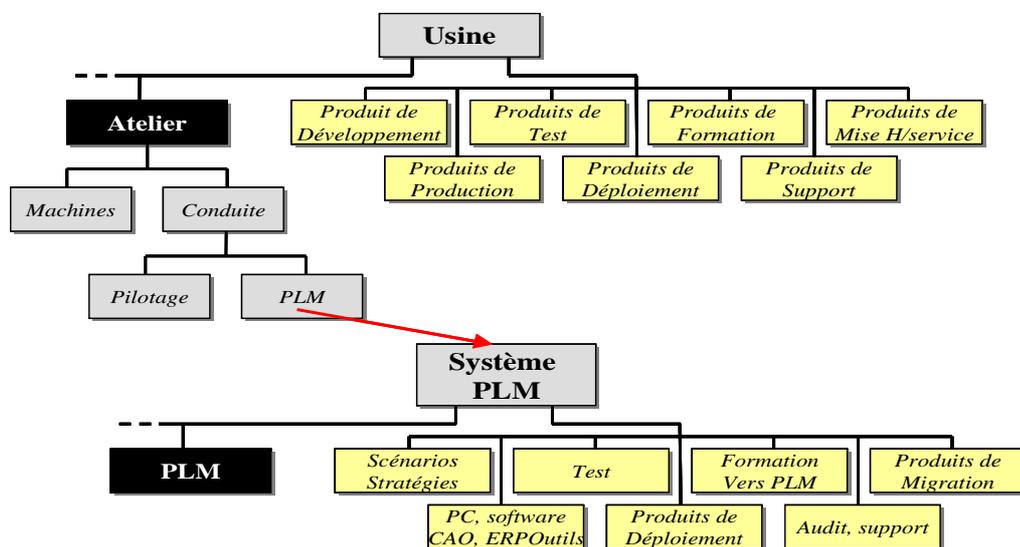


Figure 4.2. Le PLM à travers l'IS

Dans les pratiques de l'IS, nous utilisons l'aspect de la structuration EIA 632 illustrée dans le chapitre 3, à travers laquelle on peut voir le PLM comme produit final. Le PLM est considéré comme le produit final concernant le système d'information. L'affinement est réalisé dans le même paradigme, à savoir la décomposition en sous système jusqu'au composant de base.

Comme nous le montre la figure (cf. figure 4.2) l'exemple d'une usine qui est notre système, dans la décomposition nous nous sommes restreints au seul produit final qui est l'atelier. Une décomposition de ce dernier aboutit au pilotage et au PLM. Ce dernier est vu comme un système. La décomposition (EIA 632) lui est appliquée, d'où

le PLM comme produit final et ses produits capacitants à partir des scénarios et stratégies en passant par les outils informatiques, formation de personnels, jusqu'à la migration vers d'autres stratégies nouvelles.

### **3. LIEN ENTRE PRODUIT FINAL ET PRODUIT CAPACITANT**

Les liens entre le produit final et ses produits capacitants permettent la planification et le contrôle de l'Ingénierie. Ce lien est mis en valeur lorsque l'ingénierie du produit ou des produits capacitants est exécutée. Dès que les architectures sont établies, ce lien devient une relation définie entre les systèmes (produits : final et capacitants) et définit l'échange des informations (qui n'est pas l'objet de notre étude). Le lien permet d'optimiser le développement du système (stimuler l'innovation et le développement technologique) du produit et de son système capacitant comme la maintenance ou la production par exemple.

Par exemple, des solutions de conception de produit sont prises comme des contraintes pour l'analyse des besoins du système de production. Les solutions de conception du système de maintenance sont prises comme des contraintes pour l'analyse des exigences produit.

Les valeurs concrètes doivent être considérées ici, car elles touchent les délais de faisabilité. La contribution essentielle de produit capacitant à la conception des produits pour la conception du produit final est située dans l'ingénierie des exigences.

Le lien produit et système de production se révèle indispensable lors du développement du produit surtout si plusieurs parties prenantes participent dans le développement. Avant d'aller loin dans le développement il est plus sûr de connaître les impacts sur le système de production. Une nouvelle exigence (technologique, client, ...) produit peut imposer des changements sur la production comme : changement d'outil, personnel plus qualifié, formation du personnel ou nouvelles machines, etc.

Afin d'assurer un lien d'informations entre les produits, nous étudierons de près le système et les processus de son développement.

### 3.1. LE PRODUIT FINAL (End Product)

L'application de la norme EIA632 permet d'obtenir un ou plusieurs produits finaux comme présenté au chapitre 3. Aussi son utilisation est possible grâce aux processus ainsi que les produits capacitants mis en œuvre (cf. figure 4.3). Les produits capacitants sont utilisés pour réaliser les fonctions du système associées aux sept des treize processus définis dans la norme (développer, produire, tester, déployer, former, supporter et enfin mettre hors service les produits finaux). On s'est intéressé aux processus techniques et on a fait abstraction des autres processus qui peuvent également concerner le PLM.

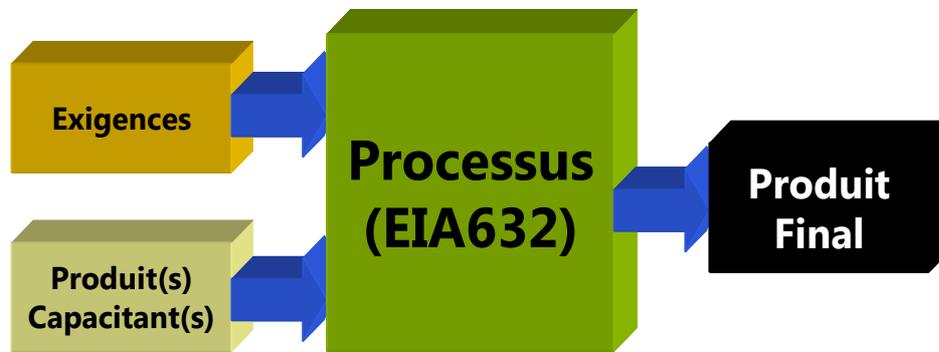


Figure 4.3. Comment obtenir le produit final via la norme EIA632

#### 3.1.1. Blocs de construction

Le concept de système forme la base d'une structure: le bloc de construction. Il est utilisé pour affiner la décomposition du système en précisant les notions de produit final et de produit capacitant tout en associant des rôles aux blocs de construction dans le cadre de leur utilisation par les processus de l'EIA-632.

#### 3.1.2. Éléments du produit final

Les produits finaux accomplissent les fonctions opérationnelles du système. Ces produits sont développés en utilisant les processus de la définition de la solution. Ils sont vérifiés sur la base des exigences spécifiées en utilisant les processus de vérification du système, et sont validés par rapport aux exigences en utilisant les processus de validation du produit final [EIA-632].

Un produit final peut être un produit en cours de réingénierie<sup>10</sup>, ou un produit que l'entreprise tente d'améliorer et en faire un produit de nouvelle génération et possède déjà des produits similaires sur le marché. Ces développements sont identifiés comme les produits dérivés ou de génération future. Lorsque la spécification du produit final n'est pas connue a priori, ou lorsque l'entreprise a peu d'expérience dans le développement d'un nouveau système, le développement est identifié comme étant sans précédent, ou comme un nouveau concept [EIA-632].

### 3.1.3. Eléments du produit capacitant

Les produits capacitants réalisent les processus associés ou les fonctions non opérationnelles du système. Les produits capacitants sont vérifiés afin d'être prêts à accomplir leurs fonctions lorsque cela est nécessaire pour soutenir leur produit final. Lorsque chaque produit capacitant est développé en utilisant les processus de la présente norme, un nouveau système est constitué (cf 3. figure 3.6). Le développement d'un « building block » du produit capacitant est normalement établi après que les produits finaux associés soient parfaitement définis et les exigences pour les produits capacitants soient identifiées [EIA-632].

Nous allons voir quelques exemples de produits capacitants comme définis par la norme EIA632.

#### A) Produits capacitants du Développement

Le développement des plans et des calendriers, politiques et procédures de l'ingénierie, l'intégration des plans et des procédures, base de données, les outils automatisés, les modèles analytiques, les modèles physiques, ingénierie et gestion de personnel, et le raccordement de câbles et autres structures d'interfaces ne sont pas développés comme des produits finaux distincts.

#### B) Produits capacitants de la Production

Plans et programmes de production, les politiques et les procédures de fabrication, les installations de fabrication, les outils spécifiques et les équipements,

---

<sup>10</sup> La réingénierie des systèmes consiste à analyser et modifier un système existant en suivant une approche systématique afin d'y apporter des améliorations.

matériaux et procédés de production, manuels de production et d'assemblage, dispositifs de mesure, et personnel de fabrication et des achats.

**C) Produits capacitants du Test**

Programme de test, les politiques et les procédures de test, les modèles de test, des outils spécifiques et des équipements d'essai, bancs d'essai, les installations et les sites d'essai, appareils de mesure, les modèles de simulation ou d'analyse, modèles de démonstration et d'essai, procédures de l'inspection, et test du personnel.

**D) Produits capacitants du Déploiement**

Les plans et les calendriers de déploiement, les politiques et les procédures de déploiement, l'emballage des matériaux, installations et sites de stockage, équipements de manutention, équipements et installations de transport spéciaux, les procédures d'installation, supports et câbles d'installation, équipement de transport spécial, instructions de déploiement, les dessins du site, et l'installation du personnel.

**E) Produits capacitants de la Formation**

Les plans et les programmes de formation, les politiques et les procédures de formation, simulateurs, les modèles de formation, cours et matériel de formation, les installations de formation et les formateurs.

**F) Produits capacitants du Soutien**

Les plans et les calendriers de support, des politiques et des procédures de soutien, des outils et du matériel de réparation, les modules d'aide à l'entretien, les services spéciaux (par exemple, la ligne d'assistance téléphonique et lignes d'accès client), un soutien spécial et des installations de manutention du matériel, les manuels d'entretien, les dossiers d'entretien du système, équipement de diagnostic spécial (non une partie intégrante du produit final), et personnel d'entretien.

**G) Produits capacitants du Retrait**

Des plans et des calendriers de retrait, les politiques et les procédures de retrait, la remise à neuf des installations et des équipements, l'équipement spécial pour le retrait et la mise hors service des produits finaux (de génération antérieure par exemple), et le personnel de mise hors service.

### 3.1.4. Concept du cycle de vie d'ingénierie

Dans l'IS comme dans le PLM le cycle de vie des produits est pris en considération.

Les processus de la norme sont applicables à n'importe quel stade du cycle de vie des produits. Dans les premiers stades du cycle de vie des produits, les processus d'ingénierie système sont appliqués pour mettre en réalisation le système ou une partie [EIA-632]. Ensuite les produits sont fabriqués et transitent en fonction des opérations où des produits sont utilisés et soutenus et au cours desquelles les opérateurs et les responsables sont formés. Comme les produits sont utilisés et que des anomalies de conception surviennent ou de nouvelles exigences sont identifiées, les processus de la présente norme sont appliqués à la réingénierie de produits. Enfin, au cours du retrait du produit, les processus de la présente norme sont appliqués pour corriger toute anomalie de conception de produits capacitants pour le retrait.

Aussi selon l'EIA-632, les phases du cycle de vie d'un produit sont organisées de la manière suivante :

A) phase de conception :

- définition du pré système ;

B) phases de création :

- définition du système ;
- conception des sous-systèmes ;
- conception détaillée ;

C) phase de réalisation :

- intégration, test et évaluation du produit final.

D) Phase utilisation et mise hors service

Utilisation, support, mise hors service du produit final.

La structuration en couches des blocs de construction ne se limite pas aux sous-systèmes. Lorsqu'un ensemble de produits capacitants est développé selon les processus de l'EIA-632, un autre bloc de construction est formé. Le développement

d'un bloc de construction de produit capacitants est généralement initié après que les produits finaux auxquels ils se rattachent aient été complètement définis et après que les exigences pour les produits capacitants aient été identifiées (cf. figure 4.4).

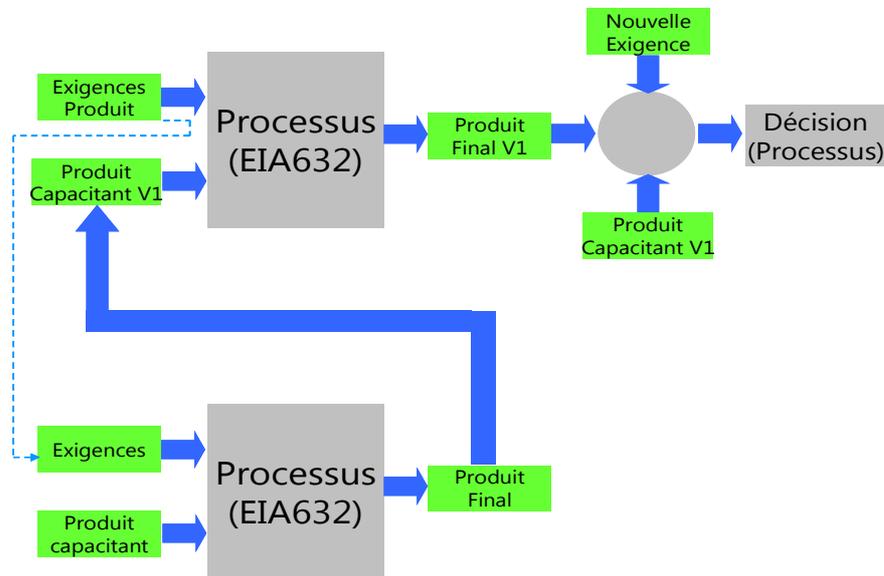


Figure 4.4. Vers une nouvelle version du système de production

Grace à cette démarche et décomposition générique, l'utilisation et la mise hors service du produit final peut être incluse dans le cycle de vie du produit. Cette phase se traduit par l'application des processus de la norme dans le développement des produits capacitants de ces phases, qui sont le déploiement, la formation, le soutien et la mise hors service.

L'application de ces mêmes activités pour ces phases, lors du développement des produits capacitants ou leur réingénierie, va étendre le cycle de vie au delà des limites utilisées auparavant et va permettre un déploiement plus large et un champ d'application plus global de la norme.

La synchronisation des processus menant à un développement n'a pas été abordée et n'est pas rendue explicite.

Une simple synthèse nous amène à constater qu'on dispose actuellement de :

- la description des processus de l'EIA-632,
- la définition de système, bloc de construction et structure de système.

La solution que nous cherchons réside dans :

- la manière d'établir le lien entre les blocs du système,
- la définition des processus du lien.

## 3.2. LA CONCEPTION DES SYSTEMES

Les processus de conception système sont utilisés pour convertir les exigences de l'acquéreur en un ensemble de réalisations des produits qui répondent aux attentes de l'acquéreur et des autres parties prenantes.

Deux processus sont impliqués : la définition des exigences et la définition de solutions. La relation de ces processus est illustrée dans la figure (cf. figure 4.5).

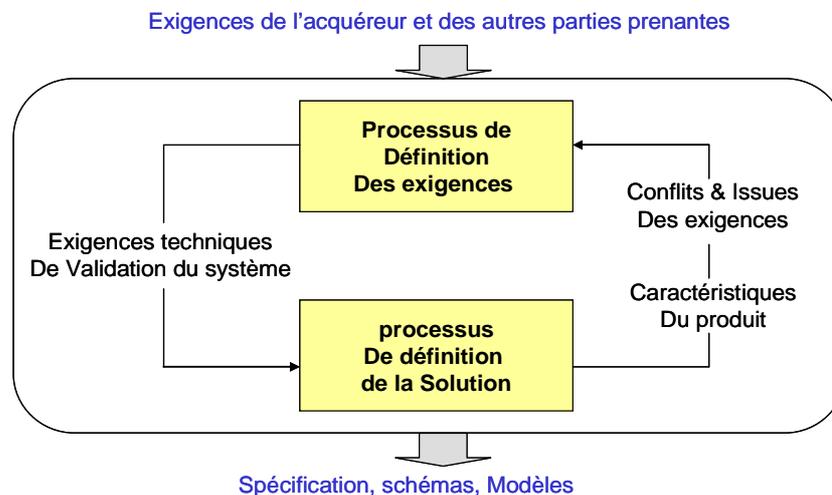


Figure 4.5. Les processus de conception de systèmes selon EIA-632

### 3.2.1. Processus de définition des exigences

- 14 – Exigences de l'acquéreur
- 15 – Exigences des autres parties prenantes
- 16 – Exigences techniques du système

### 3.2.2. Processus de définition de la solution

- 17 – Représentations logiques de la solution
- 18 – Représentations physiques de la solution
- 19 – Exigences spécifiées

### 3.2.3. Le PLM et les processus de conception

La figure (cf. figure 4.4), nous présente un cycle de processus qui peut être répétitif. Il va de la définition des exigences du niveau N («building block» de niveau N) à la définition de la solution avec un retour sur la définition des exigences. Ces étapes seront soit pour remédier aux éventuels conflits, soit pour évoluer vers le niveau N+1.

Le PLM vient en tant que solution pour l'établissement du lien produit final-produits capacitants. Ce lien va apparaître lors des prises de décisions durant la phase de conception. En effet, durant le cycle répétitif de la conception on observe l'absence de la phase de prise de décision [MIC-02] ou du passage par exemple du conflit de solutions à la solution prise. Le problème qui se pose est que certaines des décisions s'effectuent de manière automatique et sans avoir à discuter la solution. Par contre, d'autres prennent la forme de décisions collaboratives suite à des propositions qui viennent des différentes parties prenantes. Le but est que les décisions importantes, celles qui engagent les exigences (primordiales) du système, fassent l'objet de décisions collaboratives.

C'est ce qui explique notre choix pour le PLM afin d'assurer l'environnement d'échange d'information adéquat pour le lien produit final-produit capacitant permettant d'une part les cohérences des décisions et d'autre part la prise en compte des systèmes existant et participant à la mise en œuvre du produit final.

Afin de bien mener l'étape de conception et faire valoir la notion de lien, il va falloir ajouter au cœur du processus de conception système, un processus de gestion (PLM) dont le but sera de gérer la prise de décision lors de la conception. Ce processus va permettre :

- D'attribuer les exigences aux spécifications du produit et celles de son produit capacitant (production par exemple) à chaque niveau de décomposition du système.
- Définir les parties prenantes concernées par les spécifications des exigences à chaque niveau de décomposition.

Comme résultat, on va avoir en plus des processus de la conception d'un système technique :

- le processus de définition des exigences,
- le processus de définition de la solution fonctionnelle,
- le processus de définition de la solution physique,
- le processus de gestion (PLM) ; ce dernier constituant le lien et le pont d'information du système.

Cela exprime le fait que la définition des exigences, la définition de la solution fonctionnelle et la définition de la solution physique ne peuvent être conduites les unes indépendamment des autres ou séquentiellement [MIC-06]. Mais au contraire, l'avancement de ces processus dépend les uns des autres et que le processus de lien (PLM) permet la synchronisation de ces différents processus de définition.

Cette position du processus de lien (PLM) au cœur de la conception d'un système établit un pont entre cette activité d'ingénierie système et les problèmes de gestion collaborative à ce niveau.

### 3.2.4. Processus pour les parties prenantes

Le PLM est également un processus de synthèse des points de vue des différentes parties prenantes. C'est une synthèse des points de vue des acquéreurs et de l'entreprise fournisseur, des différents acteurs de l'entreprise impliqués par le projet de fourniture. Cette synthèse nous l'appelons accord ou entente dans l'IS et collaboration dans le PLM.

Dès lors, le processus d'entente entre les différentes parties concernées visant à réaliser un accord entre elles à propos de propriétés (visées et obtenues) du système devient nécessaire.

Nous proposons donc de définir une démarche en ingénierie constituée des étapes suivantes :

1. la conception d'un problème d'ingénierie.
2. La définition des critères de choix des solutions qui peuvent être proposées (à travers des indicateurs par exemple).
3. la conception des solutions envisageables. Nous cherchons des solutions possibles à la question à traiter,

4. le choix. Parmi les solutions possibles, toutes n'ont pas la même valeur. Nous devons rechercher les avantages et les inconvénients de chaque solution par rapport aux critères préalablement définis.
5. la décision. Nous choisissons une solution parmi celles envisagées,

### 3.3. LA DEMARCHE DU LIEN

Les processus pour l'ingénierie et l'intégration d'un système sont divisés en 4 types (cf. figure 4.6) :

- les processus d'entreprise et les processus de projet apportent la coordination dans le développement des produits et leurs systèmes de production. Ils sont appliqués en commun à des systèmes produits ou et de production.
- les processus techniques et les processus contractuels fournissent une description générique pour tout système. Ils sont appliqués pour chaque système distinctement. Il apparaît alors nécessaire de spécifier pour chaque tâche technique ou contractuelle, si elle contribue ou appartient à l'ingénierie du produit, des systèmes de production ou des deux.

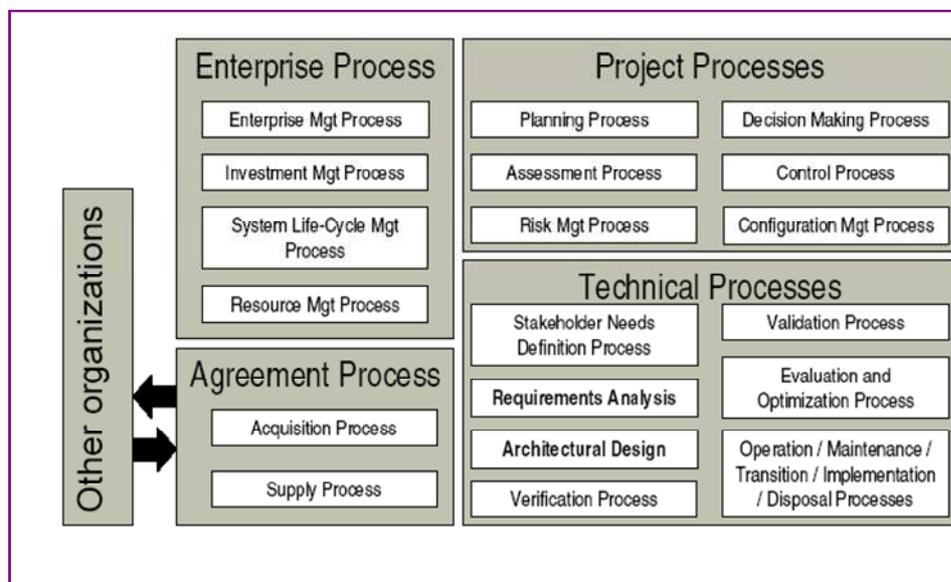


Figure 4.6. Processus pour l'IS

Les processus techniques et d'accord fournissent une description générique et peuvent être distinctement appliqués aux systèmes de produit et de production. Le

rôle des procédés d'entreprise et de projet est d'apporter la coordination dans le développement des produits et des systèmes de production requis.

La coordination est abordée à travers les domaines de connaissances ainsi que dans la description du contexte de management de projet. Ces éléments concernent directement l'établissement de liens entre les développements des produits et des systèmes de production (cf. tableau 4.1),

Tableau 4.1. *Domaine de connaissance*

Domaine de connaissance	Lien entre produit et système de production
<i>Project Coordination</i>	Projets multiples, coordination des équipes de développement
<i>(in Project Management Context)</i>	à travers l'organisation de l'entreprise
Project Integration Management	Plans de développement des projets
Project Time Management	Ordonnancement des activités, planification et contrôle
Project Communication Management	Distribution de l'information
Project Risk Management	Identification et gestion des risques

Il faut souligner que la coordination des données d'ingénierie entre les développeurs ou les équipes de développement est techniquement très complexe.

La figure 4.7, montre l'association système / projet à travers la notion de périmètres de responsabilité qui suivent la décomposition successive du système.

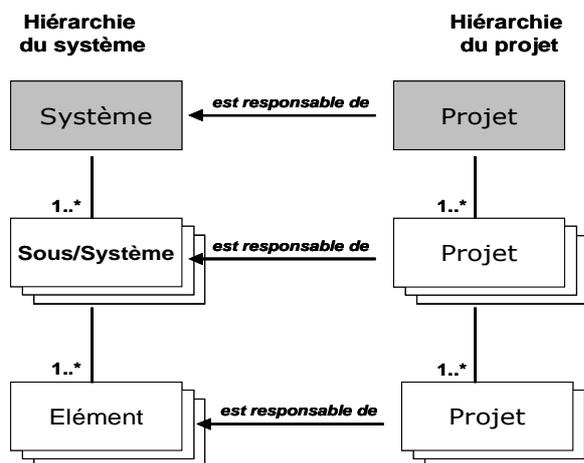


Figure 4.7. *Hiérarchie Projet/Système*

Etablir le lien consiste tout d'abord à comprendre sa raison et son objectif. Pour cela il sera d'abord question d'une construction d'arborescence de développement peut être pour la conduite de l'ingénierie d'un système de production. Cette

arborescence sera faite pour le produit final et produit capacitant conjointement, grâce au building block.

Pour chaque système de chaque arborescence est réalisé en parallèle deux activités principales d'ingénierie.

- Définition du système (produit final, produit capacitant : dans notre cas le système de production) selon la norme EIA 632. Cela mène à une architecture de décomposition en sous systèmes.
- Chaque composant du produit est lié (créer un lien) au composant du système de production qui lui est associé (qui le produit), ce qui va susciter l'aspect temporel.
- chaque lien peut être planifié comme une information ou un produit à acquérir à une date donnée afin de gérer techniquement le développement. Cette description peut aussi être utilisée pour maîtriser la diversité des produits ou la multiplicité des systèmes de production associés. Ces aspects peuvent être représentés à travers les arborescences.

Les solutions de conception du produit sont prises comme des données d'entrée pour l'analyse des exigences du système de production. Et réciproquement, les solutions de conception du système de production contraignent l'ingénierie du produit (dans le cas de changement dans le produit) donc l'impact peut être dans les deux sens.

Les valeurs concrètes sont à considérer, parce qu'elles induisent des contraintes de faisabilité et de délai. Comme décrit dans l'EIA 632, la contribution essentielle d'un système capacitant pour la conception d'un produit final se situe dans l'analyse des exigences. L'analyse des exigences du produit final apporte la source des informations acquises à partir de chaque système associé (système production).

La dernière étape de lien concerne uniquement le résultat de l'ingénierie des systèmes de production, et permet son optimisation. La figure ci-dessous, montre une architecture organique du système de production, où les flèches reliant les composants produits et les composants du système de production sont un exemple de concrétisation du lien.

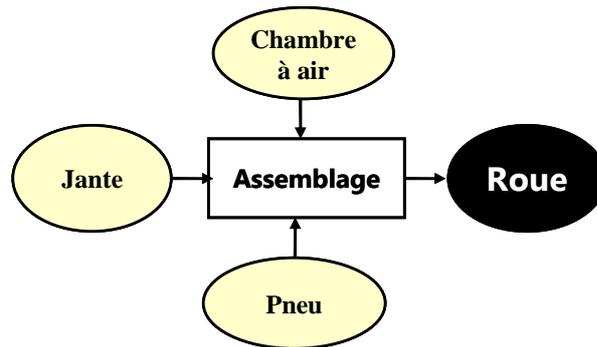


Figure 4.8. *Représentation du lien end product et enabling product*

Des représentations analogues peuvent être faites par exemple avec les descriptions fonctionnelles du système de production, afin de pouvoir représenter les éléments courants tels que les opérations ou modes opératoires, les outils et les moyens de production. Elles permettent de traiter les aspects : logistique, temporels, masse, fiabilité, ressources, dynamique, surface, contrôle/commande, ...

La considération des aspects logiciels (notamment progiciels) nous a aidé à mieux définir la démarche théorique. Cette théorie est confrontée à l'application concrète du PLM. L'absence de ce genre d'outils nous empêche d'avoir une conclusion formelle. Nous avons juste formalisé nos besoins concernant un système de coordination des ingénieries. Ces conclusions intermédiaires sur les aspects logiciels et interopérabilité entre systèmes d'information ne sont donc pas validées.

## 4. APPROCHE DE LIEN ET TRACABILITE

Chaque produit final et chaque produit capacitant inclut un ou plusieurs éléments : matériel, logiciel, progiciels, personnel, installations, données, matériaux, services et processus.

Il peut y avoir plus d'un produit final dans un module (cf. figure 4.9). Dans ce cas, le système se compose d'une agrégation des produits finaux, plus leurs produits capacitants. [EIA632]

La démarche IS consiste en : processus, méthodes, outils. Après avoir vu la nécessité de processus pour assurer le lien, la bonne pratique implique le passage à la méthode.

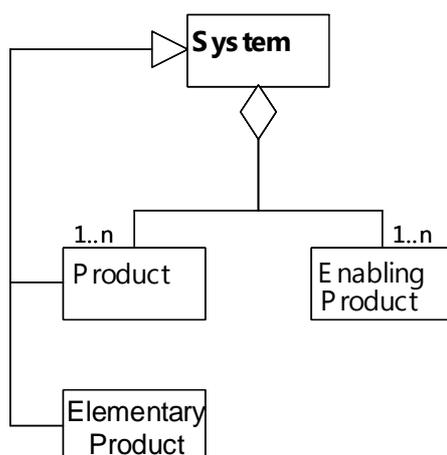


Figure 4.9. Modèle du système vu par la norme EIA 632 en UML

L'application des processus (14, 15, ...,19) de conception que l'on trouve dans la norme va donner un modèle de produit et de produit capacitant. Comme le montre la figure (cf. figure 4.10) le produit final et produit capacitant (exemple pris est celui du système de production) ont été modélisé par SysML. Le développement de la nouvelle génération du produit va impliquer des changements qui vont impliquer à leur tour des modifications au niveau de la production [MES-07b].

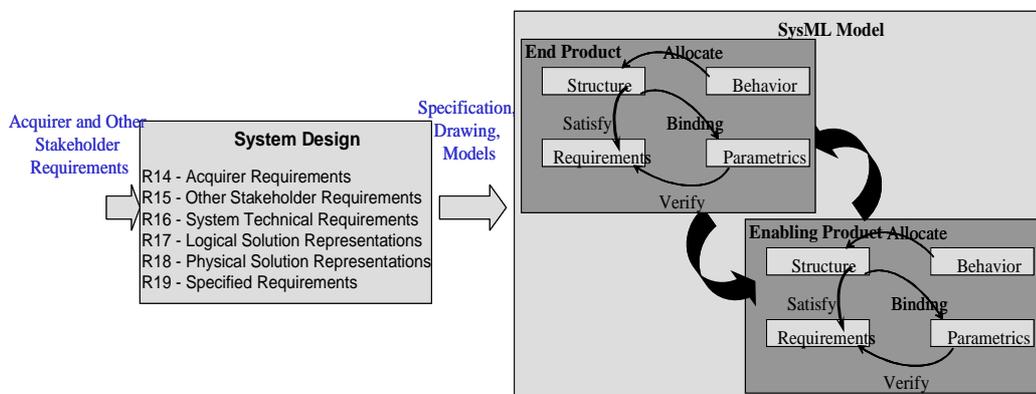


Figure 4.10. De l'exigence vers le modèle

Le fait de développer conjointement le produit final et le système de production va permettre la prise en compte de l'impact des changements très tôt. Cela se traduit par le lien établis entre le produit final et le système de production.Comme le montre la figure (cf. figure 4.11) ; La traçabilité des exigences permet le suivi de l'impact de changement de l'exigence produit sur le système de production.

Une telle analyse peut être également déployée pour le reste des produits capacitants.

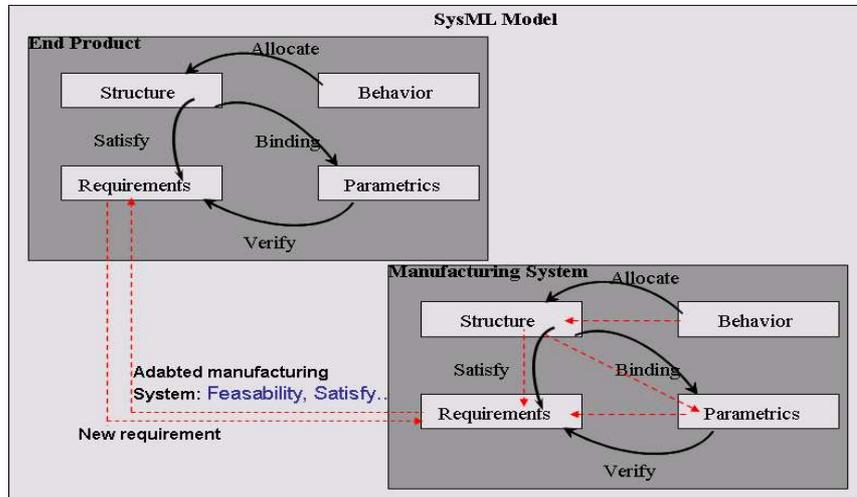


Figure 4.11. Le modèle de lien des exigences

Suivre l'évolution des processus de l'EIA632 concernant le produit final tout en cherchant l'impact de chaque exigence sur les systèmes de (production, maintenance,...) cf. figure 4.12. L'affectation du personnel à la machine implique un personnel adéquat d'où d'éventuelles formations.

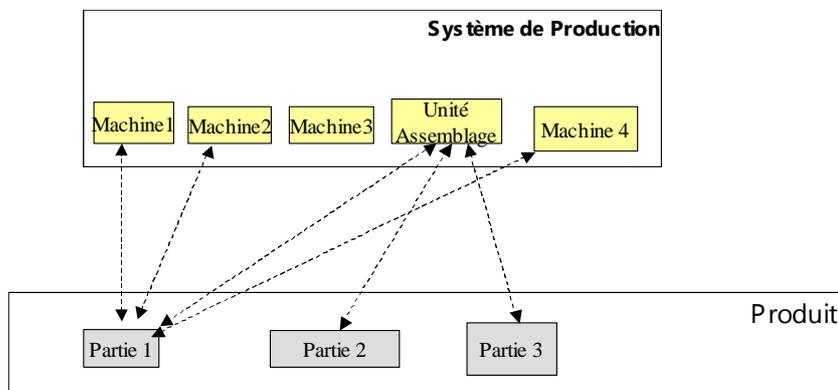


Figure 4.12. Prise en compte du système de production dès les premières phases de développement du produit final

La figure 4.13 présente le modèle de lien (en UML) où est présentée une classe appelée « classe Affectation », cette dernière assure le lien entre le produit final et ses produits capacitants. Elle permet de faire le lien entre les décompositions produit et production ainsi qu'établir la gestion des tâches (machines par exemple).

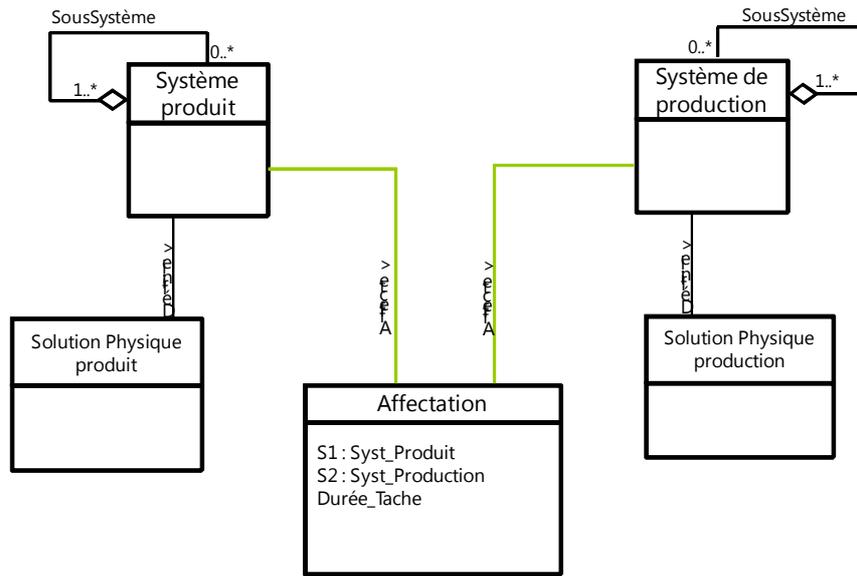


Figure 4.13. *Modèle du lien produit final-produit capacitant*

Pour mieux voir l'aspect de la gestion des tâches et aller au niveau machines. Nous avons établi le modèle du système de production qui est assez générique étant donné qu'il diffère d'une usine à l'autre.

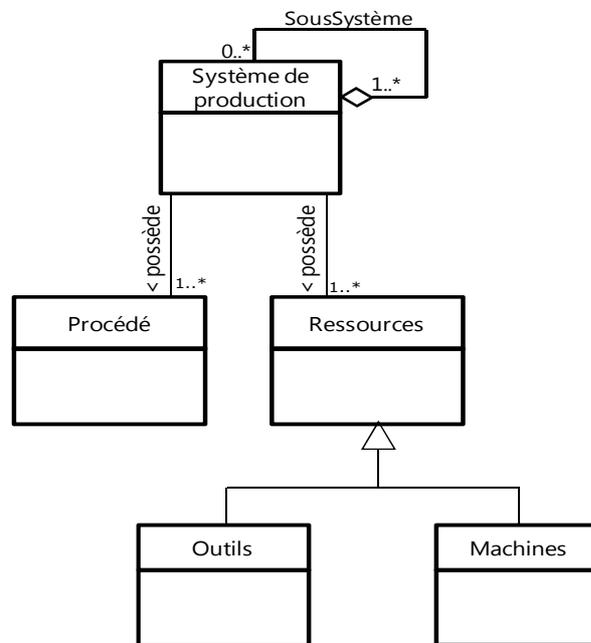


Figure 4.14. *Modèle simplifié du système de production*

Dans ce cas spécifique, celui du produit capacitant. Le système de production est décomposé en procédé et ressources (cf. figure 4.14).

Le procédé est un ensemble de processus métiers. Un “métier” par définition correspond à une composante de l’organisation en recherche et développement, qui contribue par son expertise à l’ingénierie d’un système technique. Un exemple du procédé de soudage, où les outils de l’instance sont: pince, lampe torche, etc. Les machines sont : robot, positionneur, etc.

## 5. DEMARCHE ET ETUDE DE CAS

Nous allons illustrer notre approche à travers un exemple qui traite un vélo. L’idée est que durant la conception une exigence nouvelle survient. Elle évoque le besoin d’un vélo plus confortable qui résiste à des randonnées sur des routes non bitumées.

Le tableau (4.2) présente les phases de l’IS et les données PLM correspondantes. Pour simplifier nous n’avons présenté que les données relatives à la conception et à la fabrication.

*Tableau 4.2. Vers une relation entre données*

<b>Les phases IS</b>	<b>Les données PLM</b>
Exigences	
Design	Changement
Manufacture	Workflow Structure Inventaire
Test	
Opération	
Maintenance	
Mise hors service	

La norme EIA 632, divise la conception d’un système en deux processus principaux si l’on met de côté les aspects de vérification et de validation (traités de façon transverse aux autres processus) :

- la conception de la solution logique,
- la conception de la solution physique.

## 5.1. Décision lors de la conception

Concevoir un système, c'est déterminer, à partir d'une spécification, un ensemble suffisant de propriétés de ses produits finaux et de ses produits capacitants qui autorisent la mise en production d'artefacts (produisant les effets attendus dans la définition opérationnelle).

Donc, la réponse à une exigence fonctionnelle est, dans un premier temps, une succession de transformations. Ensuite elle se traduit en une succession de processus qui à leur tour engendrent de nouvelles exigences. A ces nouvelles exigences vont correspondre de nouvelles successions de transformations puis de nouveaux processus et ainsi de suite (cf. figure 4.15).

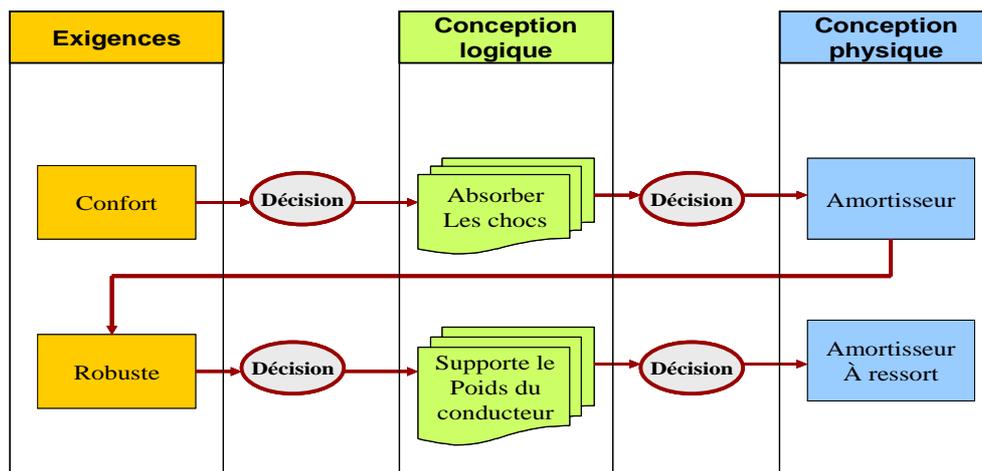


Figure 4.15. Conception

Cette génération de nouvelles exigences est liée d'une part à la dépendance des processus vis-à-vis de leurs environnements (en matière, en énergie et en information) et d'autre part, au caractère imparfait des processus réels.

## 5.2. Processus IS

Les exigences techniques du système sont :

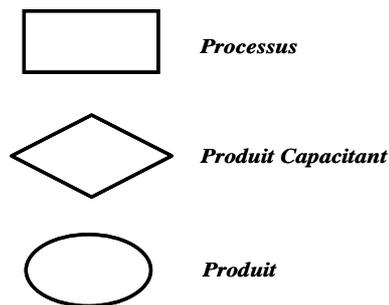
- a) Établir les règles de transformation requises, priorités, entrées, sorties, états, modes, et configurations appropriés à chaque produit du système.
- b) Définir les exigences opérationnelles pour inclure des profils opérationnels. Pour chaque profil opérationnel l'environnement d'utilisation et les événements auxquels des produits finaux du système doivent répondre, fréquence d'utilisation, interfaces physiques et fonctionnelles et exigences fonctionnelles de système.
- c) Définir l'exigence d'exécution (jusqu'à quel point chaque exigence fonctionnelle doit être accomplie), y compris l'identification des paramètres critiques d'exécution.
- d) Analyse des exigences de l'acquéreur et des autres parties prenantes pour définir les effets du facteur humain et les problèmes, établir des capacités et la synchronisation, définir la technologie et les contraintes de conception de produits, définir les exigences des produits capacitants, identifier les conflits, et déterminer les critères pour résoudre des conflits.
- e) Identifier et résoudre les exigences ayant une utilité incertaine ou ayant un risque inacceptable.
- f) La résolution des conflits à identifier entre l'ensemble des exigences de l'acquéreur et de tout autre dépositaire.
- g) Préparer un ensemble d'exigences techniques du système qui sont bien formulés en accord avec l'exigence 25 de la norme : Validation du rapport d'exigences.
- h) S'assurer que l'ensemble des exigences techniques du système est correct et en accord avec l'exigence 28 de la norme : Validation des exigences techniques du système.
- i) Enregistrer l'ensemble résultant des exigences techniques du système dans la base de données des informations établies.

### 5.3. Illustration

Notre approche cherche à établir le lien entre le produit et son système de production dans le but de définir l'impact d'une nouvelle exigence (produit) sur le système de production. Notre exigence est « un vélo confortable ».

Donc une nouvelle exigence est émise, du coup une définition du système devient nécessaire. Nous soulignons que l'étude des exigences sera faite dans le chapitre 5.

Etant donné que nous nous reposons sur la définition de l'EIA 632 alors nous avons établis notre propre sémantique. Dans notre définition du système nous avons les trois éléments : *processus*, *Produit final* et *Produits capacitants*. Pour cela nous avons présenté les processus par des rectangles, le produit final par une ellipse et les produits capacitants par des losanges comme le montre la figure (cf. figure 4.16).



A partir de cette définition il est possible de présenter notre produit et notre système de production : (cf. figure 4.17) fournit une représentation simplifiée de la production du cadre d'un vélo.

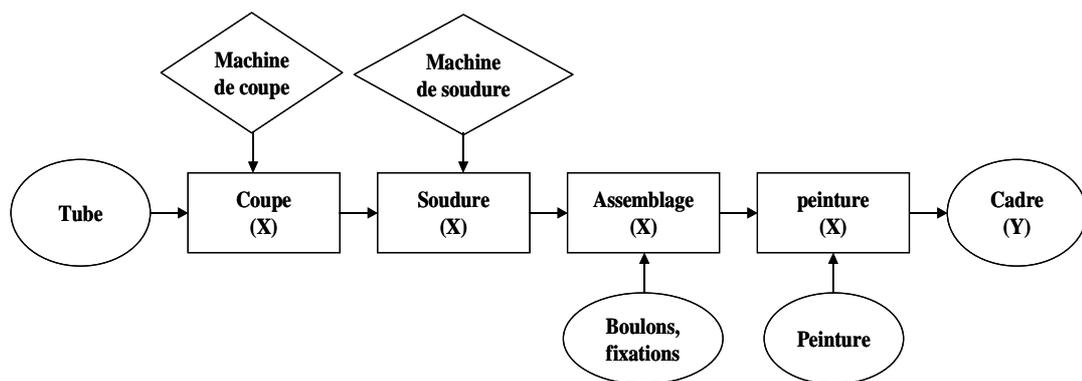


Figure 4.17. Production d'un cadre de vélo

Cet exemple, montre le processus d'obtention du cadre à l'aide d'éléments ou de composants de bases : tube, boulons, peintures..., les produits capacitants tel que les machines et les individus. Ces derniers sont représentés par des losanges et les processus ou étapes successives sont représentés par des rectangles.

A ce stade de la production du vélo, l'évolution du produit vers une génération nouvelle n'est pas encore intégrée. La fabrication part du processus de coupe (X) et se termine par le produit final cadre (Y).

La nouvelle exigence du vélo confortable va imposer nécessairement, dans cet exemple, un nouveau produit. Il y aura donc un impact sur le système de production tel que l'illustre la figure (cf. figure 4.18). La nouvelle exigence est traduite par l'intégration d'un amortisseur permettant d'absorber les secousses. L'amortisseur devient alors un élément du vélo, ce qui nous amène à un nouveau système de production (X+1) ainsi qu'à un nouveau produit (Y+1).

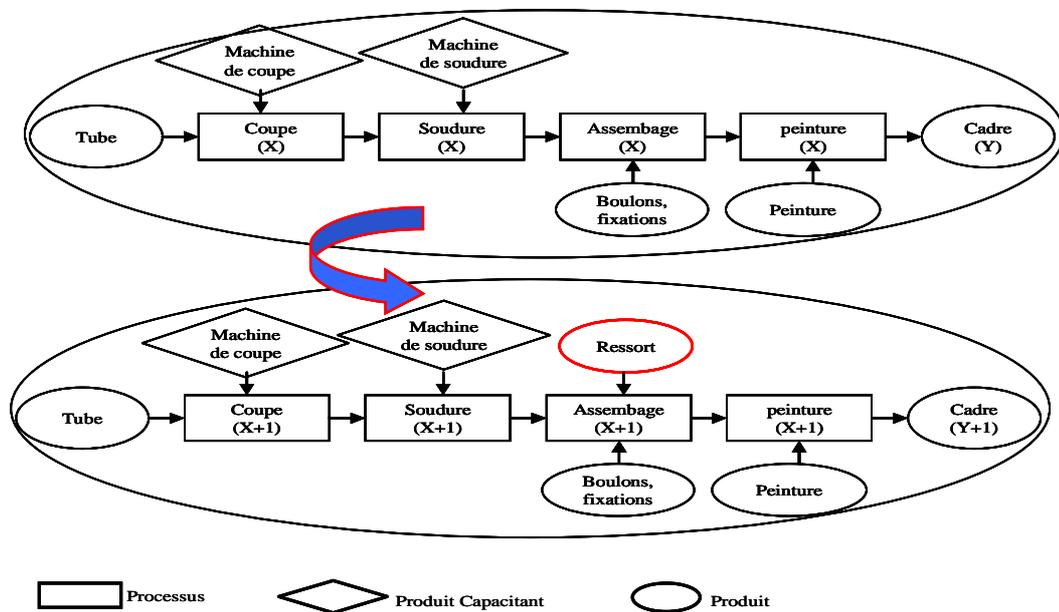


Figure 4.18. processus de fabrication du cadre du vélo.

Une fois que l'équipe d'ingénierie a établi le nouveau produit et son système de production, le système PLM assure la collaboration et l'acheminement des informations dans le but de lier toute partie affectée par le changement.

Nous adoptons l'approche qui lie la production de vélo avec ses nouvelles exigences et le PLM qui va assurer les décisions à prendre en phase de conception.

La fabrication est une partie du cycle de vie du produit qui est également couverte par le PLM.

Le produit final (ou le système) est le vélo fini. Les produits finaux des sous-systèmes incluent des éléments tels que les roues, le guidon et le cadre.

Chaque association entre le produit et les systèmes de production peut être contrôlée en tant que lien entre les sous systèmes de chaque structure hiérarchique de système.

Quand l'exigence est émise ; elle est transférée par l'intermédiaire du PLM vers l'équipe d'ingénierie qui tiendra compte du lien établi auparavant entre le vélo et son système de fabrication. Cela permettra de définir l'impact de l'intégration de l'amortisseur au vélo ainsi que l'impact de cette opération sur le système de fabrication. De toute évidence dans cet exemple, se traduit par le changement des processus de fabrication.

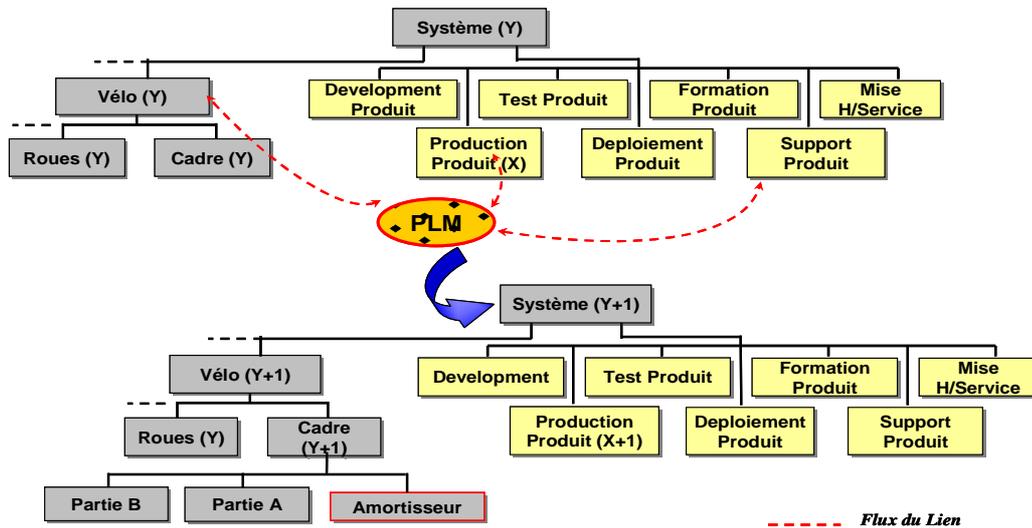


Figure 4.19. Scénario du lien des systèmes production et produit

Le PLM aura également la responsabilité de sauvegarder et mettre à jour le nouveau produit et son processus de fabrication (cf. figure 4.19). Cette démarche est détaillée au chapitre 5.

## 6. CONCLUSION

Ce chapitre a été dédié à un des objectifs de cette thèse, à savoir la définition du lien entre le produit final et le produit capacitant. Lors du développement des produits capacitants ou leur réingénierie, le cycle de vie va s'étendre au delà des limites

utilisées auparavant et va permettre un déploiement plus large et un champ d'application plus global de la norme.

Ainsi, le développement d'un produit final se traduit par :

1. Un produit de nouvelle génération.
2. Un nouveau produit, donc un nouveau concept.

Des processus de gestion de décisions sont utilisés lors de la conception, conjointement avec les processus de conception de la norme EIA 632, afin de permettre la liaison des informations du système.

La solution que nous cherchions était dans la manière d'établir le lien entre les blocs du système et la définition des processus de ce lien. Mais la réponse à cette question nous fait revenir à la cause du changement soit les nouvelles exigences.

Le chapitre suivant traite le problème des la capture (ou l'élicitation) des exigences en suivant leur évolution tout le long du cycle de conception. Il s'appuie sur et affine l'exemple de la fabrication du vélo.



# Chapitre V

---



# Chapitre 5



## **I**NTÉGRATION DU PROCESSUS DE CHANGEMENT DES EXIGENCES

### **1. INTRODUCTION**

Ce chapitre complète l'approche proposée aux chapitres (3 & 4). Comme présenté auparavant notre contribution se situe au un niveau d'abstraction des processus. Notre travail porte sur l'intégration de processus PLM dans le but d'assurer le lien entre le produit final et les produits capacitants, pour ensuite pouvoir suivre l'impact du changement des exigences durant le cycle de vie du produit comme présenté au chapitre (cf. 3. 7).

Ce type de changement est souvent dû à de nouvelles exigences qui peuvent être émises par différentes parties prenantes. Une nouvelle exigence implique un

éventuel changement de conception, et donc un impact sur le produit et surtout sur les systèmes capacitants (système de production, de maintenance, etc.).

A ce niveau la gestion du produit devient une gestion de processus, avec des étapes importantes définies par le cycle de vie du produit plutôt que des données de produit.

Le but est d'établir des processus entre la technologie, le système (produit et production), et les outils informatiques afin de fournir l'automatisation du processus. Avec ce dispositif, les utilisateurs pourront faire des corrections nécessaires avant le changement réel et surtout estimer l'impact du changement sur les systèmes capacitants.

Notre approche consiste à assurer le lien entre le produit final et ses produits capacitants [MES-07a]. Pour cela, nous devons appréhender le lien à partir du cahier des charges, donc à partir des exigences [MES-07b].

Ce chapitre relève les points suivants :

- Attribuer les exigences aux spécifications (produit final, produit capacitant).
- Définir les parties prenantes concernées par le changement.
- Choisir la meilleure solution selon les critères établis.
- Gérer les changements d'exigences.
- Etablir un modèle de traçabilité.

## **2. ANALYSE D'IMPACT**

Une approche de conception complète, signifie la collaboration de plusieurs organismes et individus dans le processus. Cette collaboration concerne différents niveaux et la solution exige l'intégration de l'information liée au projet et de l'information liée au produit, afin de tenir compte d'un processus coordonné. Les organismes et les individus sont internes (vente, R&D, production, etc.) et externes (les laboratoires d'essai, la production externalisée, les agences d'annonce, etc.).

Déploiement Basé-Web.

Outils spécifiques de processus.

Normes globales.

Centralisation, Projet intégrés et information de produit.

Cette relation bidirectionnelle entre le système PLM et d'autres systèmes est critique. Elle doit faciliter un écoulement d'information entre les différents groupes fonctionnels impliqués dans le développement de produit, en particulier bureau d'étude et atelier de fabrication [MES-05].

Plusieurs travaux ont été réalisés dans le domaine de la collaboration [LI -07]. Ils proposent un environnement d'ingénierie pour la collaboration dans le développement du produit (cf. figure 5.1). Indépendamment des frontières et des endroits géographiques des parties prenantes, le développement du produit est également contraint par les différents formats de données utilisés et les systèmes hétérogènes impliqués. Le contexte du développement de produit dans un environnement de collaboration est traduit dans notre étude par le système PLM soutenu par l'approche ingénierie système qui repose sur une norme industrielle robuste.

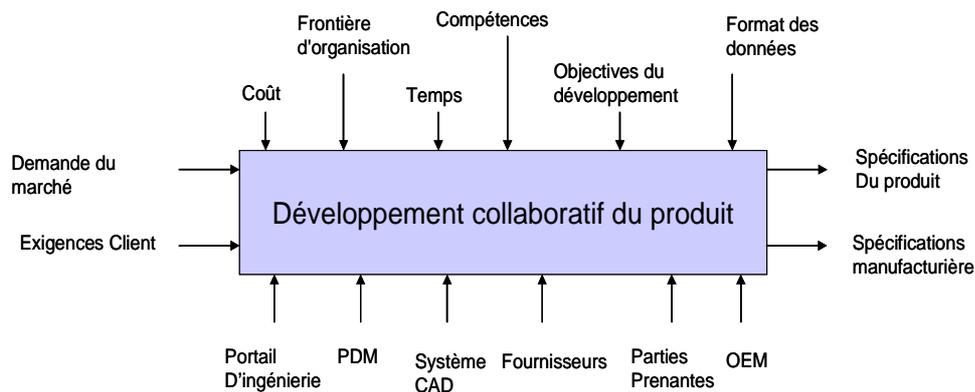


Figure 5.1. Développement du produit en Collaboration [LI -07]

Le processus pour la collaboration du développement du produit est décomposé en trois étapes principales :

1. Identifier les parties concernées,
2. Etablir la collaboration,
3. Développer le produit.

L'étape 1, dans laquelle on recherche et on sélectionne les parties concernées par le développement du système ne peut se faire qu'après avoir établi les éléments touchés par le changement. Cette étape se traduit par les deux points suivants :

- Définir l'impact de la nouvelle exigence sur le système.
- Définir et dresser la liste des parties prenantes (fournisseur, ...), concernées directement ou indirectement par le changement.

L'étape 2 celle ou on établit la collaboration, elle consiste à :

- Emettre le modèle (dernière version avant le changement (Y)) du produit et du système de production établi grâce à la définition amenée par l'EIA 632.
- Intégration des processus relatifs aux affaires.
- Etablir la collaboration (en termes d'ingénierie).
- Evaluer l'impact du changement à faire sur le système de production (dernière version avant le changement (X)) du système.

## 2.1. La collaboration en termes d'ingénierie

Le but à travers la solution de collaboration en termes d'ingénierie est d'exprimer explicitement la connaissance exigée pour l'initiation du contact.

Le service d'exécution du déroulement des opérations est implémenté en tant qu'un ou plusieurs moteurs de workflow. Ces moteurs sont des serveurs d'application qui communiquent et coopèrent les uns avec les autres.

Une approche basique de gestion de workflow est : que l'information est transmise d'un acteur à l'autre [RIE-98]. Coordonner le processus de développement du produit avec la technologie de gestion du workflow, implique la définition du modèle de workflow des participants et les politiques pour affecter les charges. Ces étapes sont traduites par :

- Rassembler les équipes de développement du produit,
- Etablir le plan de développement,
- Déterminer les applications,
- Réaliser l'interopérabilité des applications,
- Définir le processus de l'ingénierie collaborative (Processus PLM),
- Développer le produit (Système).

## 2.2. Processus de développement du système

[HON-05] présente le développement du produit où les parties prenantes participant au développement doivent connaître les exigences des parties du produit définies par le sous-traitant, et ainsi soumettent le développement résultant. Il est évident que les processus de développement du produit représentant le savoir-faire technique des parties prenantes ne vont pas être exposés. D'ailleurs, le processus de développement du produit est fortement dynamique et il est difficile de modéliser ses détails à l'avance.

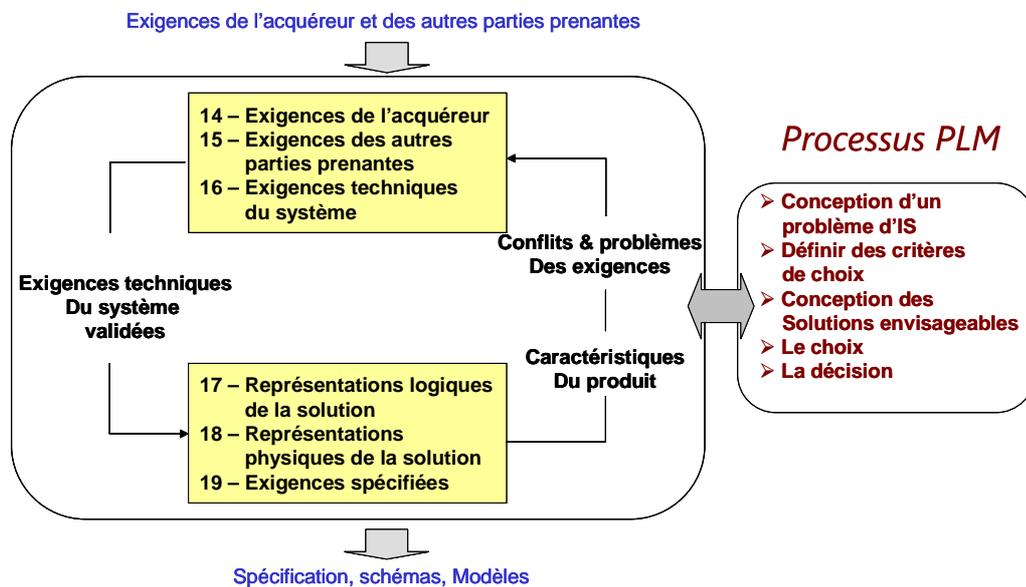


Figure 5.2. Développement du produit

Comme présenté au chapitre 4, les processus PLM sont nécessaires pour la dynamique du développement (cf. figure 5.2), et cela à travers la synchronisation du développement et de la prise de décision par les parties concernées.

Les processus du management technique sont utilisés pour planifier, évaluer et contrôler les efforts techniques requis pour satisfaire l'accord établi. Celui qui nous intéresse dans cette partie est le « processus de contrôle » : car il est employé pour :

- (1) contrôler les « sorties » venant du processus d'acquisition et de fourniture, du processus de conception, du processus de réalisation, et du processus d'évaluation technique,
- (2) surveiller les écarts et les variations du plan et les anomalies vis-à-vis

des exigences (3) distribuer l'information requise et demandée (4) assurer les communications nécessaires (cf. figure 5.3).

*Documents d'acquisition, Accord, Résultats et Feedbacks*

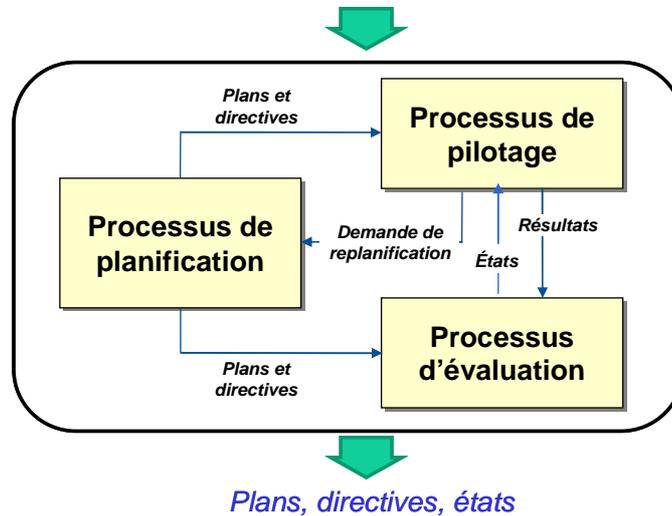


Figure 5.3. Processus de la gestion technique [EIA632]

Dans la close (4) de la norme EIA 632 on trouve le processus (H) constitué des sous processus suivants : Gérer et suivre les exigences des parties prenantes, les exigences techniques du système, représentations de solution logique, représentations de solutions physiques, les exigences techniques dérivées, approuver les changements, et de la validation des résultats.

Le déroulement des opérations décrit seulement les étapes principales dans le développement du produit, la figure 5.4. décrit la séquence de ces étapes. Elle doit être interprétée de la façon suivante :

**Début**, émission de la demande du changement (CR).

Une pré-étude de la solution se fait au plus haut niveau de décision, où se décide la nécessité du changement ou non.

**Si** le changement est nécessaire, **alors** la demande passe à l'étape de l'étude (R&D).

En s'appuyant sur la décomposition du système une étude de l'impact du changement sur le produit se fait,

**Si non** une pré-étude se fait encore.

L'étude de l'impact du changement sur le système de production se fait alors.

Si le changement n'est pas faisable **alors** une autre étude est nécessaire.

- Si non l'exigence est valide et le changement peut se faire.

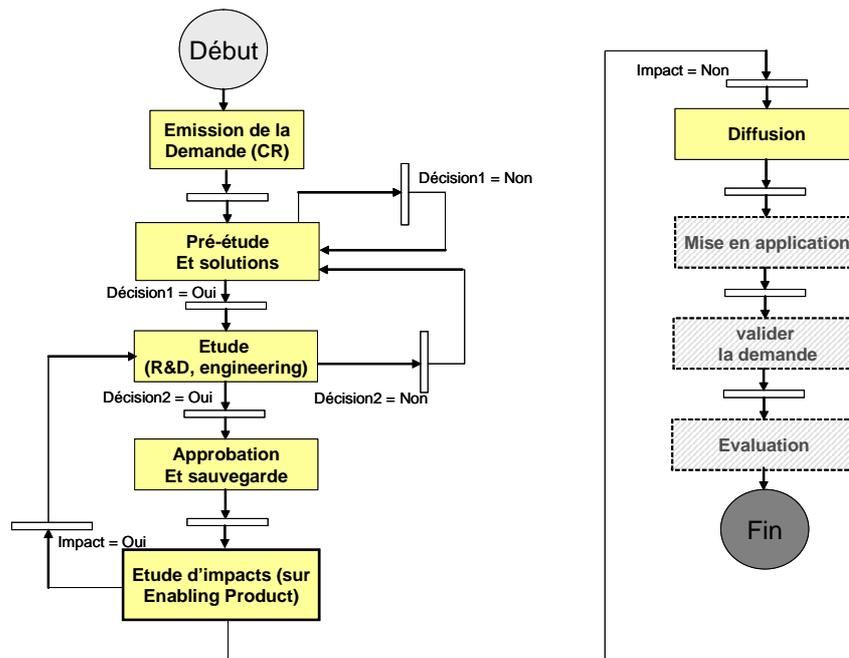


Figure 5.4. Modèle (workflow) du processus du développement du système.

### 3. GESTION DE L'IMPACT

D'après les différents problèmes rencontrés (volatilité, modification, expression des exigences, etc...) durant le développement, les industriels ont trouvé la nécessité d'élaborer une étude comme l'ingénierie d'exigences, pour couvrir la gestion d'exigences durant tout le cycle de vie du développement de systèmes (de l'élicitation jusqu'à la validation) [SAH-02b].

Ici, vient notre deuxième contribution qui consiste à introduire de l'ingénierie des exigences dans le PLM. L'ingénierie des exigences permet la production des spécifications. Une spécification peut contenir un nombre très varié d'exigences (de 50 jusqu'à quelques milliers). Pratiquement, une spécification est nécessaire pour

rendre les exigences plus cohérentes, les maîtriser et les gérer au cours du développement du système.

La difficulté d'une demande de changement n'est pas limitée juste à son application, mais également à l'analyse de son impact sur l'ensemble du système. En effet elle n'est pas restreinte à un modèle donné ni à une phase donnée au cours du développement du système désiré.

La navigation entre les différentes phases durant le cycle de vie d'un système exige l'intégration d'un modèle de traçabilité.

### 3.1. Modèle de traçabilité

Si la traçabilité est plus connue dans le cadre de la conception d'un système, nous voulons étendre cette notion dans le cadre de PLM, et ainsi suivre et formaliser les liens entre le produit et le système de production. Comme le cahier des charges contient des exigences de niveaux d'abstraction très différents, les exigences bas niveaux doivent alors être transmises à travers les spécifications intermédiaires pour finalement atteindre la spécification du niveau adéquat.

Cette pratique fait qu'une exigence client bas niveau a toutes les chances d'être omises au cours de la déclinaison de la spécification mère, et ceci d'autant plus que les exigences ne sont pas identifiées de manière unique, et donc pas tracées entre niveaux de spécifications.

En ingénierie, dans le cycle de vie d'un produit, plusieurs traces sont recherchées par rapport à une exigence :

- Quels sont les liens que l'on doit établir entre exigences ?
- Une exigence a-t-elle subi plusieurs changements ? Quelle est son histoire ?
- D'où provient cette exigence ? De quels éléments est-elle issue ?
- Comment est-ce qu'une exigence demandée par le client est-elle bien allouée à un matériel ou distribuée sur un ensemble de matériels ?
- Quelles sont les exigences dépendantes ou corrélées à une exigence ?
- Quelles sont les exigences, qui modifiées nécessitent une réorientation des produits capacitants et en l'occurrence : la maintenance, le système de production et le système de développement

Contribution au système se traduit par, la prise en compte l'ensemble des contraintes existantes, etc.

Trois types de liens sont identifiés :

- les liens liés aux produits finaux (liens exigences-econception, liens exigences conception etc.),
- les liens de déclinaison (exigences-exigences),
- les liens produit, produit capacitant et impact de changement.

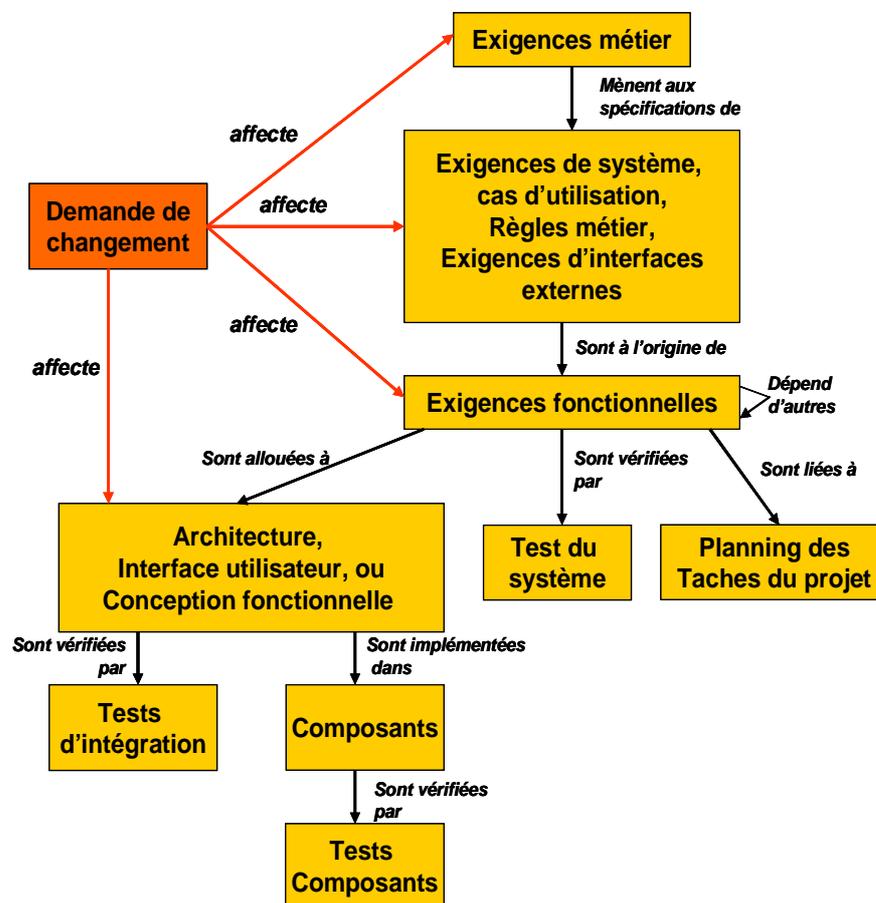


Figure 5.5. Changement d'exigence<sup>11</sup> et liens de traçabilité

<sup>11</sup> Les exigences fonctionnelles expriment les fonctions attendues par le système. Par contre, les exigences non fonctionnelles, sont une traduction des contraintes globales de qualité de service

La figure 5.5 montre des exemples de liens de traçabilité que l'on peut désirer surveiller. Outre la sélection du modèle de traçabilité qui convient dans le cadre d'un projet pour chaque lien de traçabilité, il faut définir une procédure formelle d'évolution des exigences (au niveau sémantique) et des liens existants afin de pouvoir mettre à jour ces éléments de manière coordonnée et de garantir la cohérence et la validité des liens présents. Les procédures doivent être établies pour répondre aux questions :

- quand peut-on/doit-on faire des modifications et sous quelle condition (changement de système de production) ?
- qui approuve les modifications demandées ?
- qui peut faire des modifications dans l'outil d'ingénierie des exigences (outil de traçabilité) ?
- comment faire ces modifications pour évaluer l'impact de tous les éléments concernés par la modification sans en oublier ?

La traçabilité devient un avantage indéniable lorsque les parties prenantes qui ont permis la réalisation du système, sont dissoutes suite à la réalisation du produit. Les efforts consentis à effectuer la traçabilité des besoins en cours de projet commencent alors à montrer leur rentabilité.

Finalement, la traçabilité permet un meilleur suivi des besoins au cours du développement, en limitant la perte des besoins et leurs modifications aux cours de leurs manipulations dans les différents niveaux d'abstraction composant le modèle du système.

Le modèle de base au plus haut niveau d'abstraction est illustré dans la figure 5.6.

---

ou d'aptitude du système (fiabilité, opérabilité, conviviabilité), ou des contraintes opérationnelles (conformité à des normes d'utilisation), ou des contraintes de conception (réutilisation d'existant).

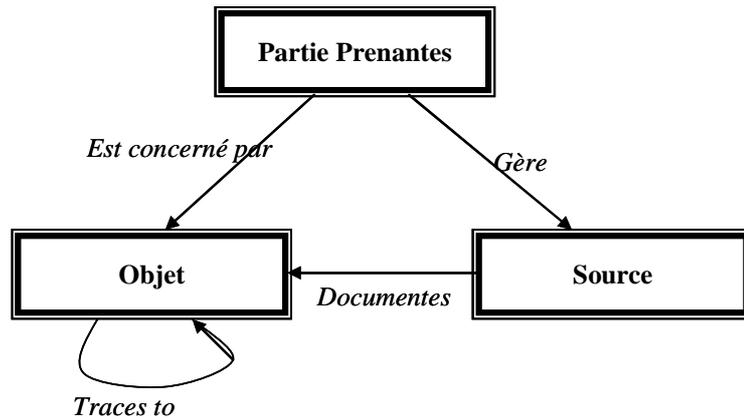


Figure 5.6. Modèle de traçabilité

En raffinant au niveau de l'objet (cf. figure 5.7), le produit final et les produits capacitants apparaissent. Le lien présenté par la flèche en gras est celui assuré par le PLM. La relation au niveau exigence apparaît à travers « réalisé par ».

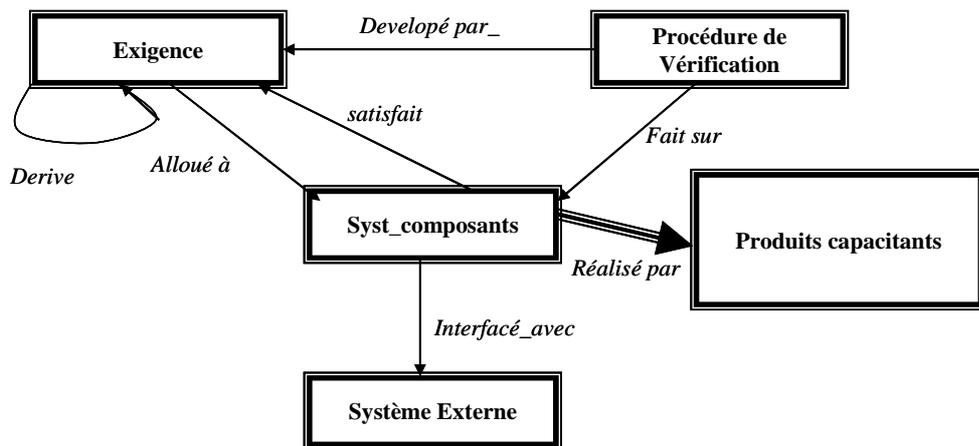


Figure 5.7. Modèle de traçabilité raffiné

### 3.2. Les processus

Le processus de changement débute par l'émission directe de l'ECR<sup>12</sup>. La raison du changement peut être, par exemple une erreur perçue dans la conception, une idée pour une solution de fonctionnement meilleure, ou bien une demande (exigence)

<sup>12</sup> ECR (Engineering Change Request) : Demande de changement technique

client. Les personnes présentant l'ECR définissent le sujet du changement dans les rubriques affectées par le changement (parties, assemblage ou documents), et une description des raisons du changement. Un ECR peut contenir un document électronique valide (par exemple un schéma CAD) avec des commentaires et accentuation (parties soulignées à noter). L'ECR est délivré aux personnes chargées des changements selon le déroulement des opérations (Workflow) définis dans le système (par exemple par un lien hypertexte ou autre type de notification dans le système PLM) [SAA-02]. Une documentation additionnelle, relative au changement peut être collectée et les personnes chargées ou responsables du changement peuvent discuter des mesures à prendre. Cette négociation peut être faite à travers le système PLM.

Dès que la nature et le type de changement envisagé sur le produit sont clairs, les personnes chargées du changement émettent un ECO (Engineering Change Order), l'ordre de changement technique. Cet ordre de changement peut être consécutif à un ECR. Dans le cas où le changement survient sans un ECR préalable, l'ECO est alors émit directement. Cela montre la nécessité de la gestion du changement à travers les systèmes PLM. Si nécessaire, un grand nombre de demandes de changement peuvent être collectées tôt au sein d'une organisation globale. Des changements de produit peuvent être collectés dans une approche ascendante et rassemblés en tant qu'un ECO et soumis lors des négociations, inspections et approbations pour la production. En d'autres termes la capacité des compagnies à réagir aux différentes situations exigeant des changements de produit peut souvent être notablement accélérée en utilisant ces méthodes.

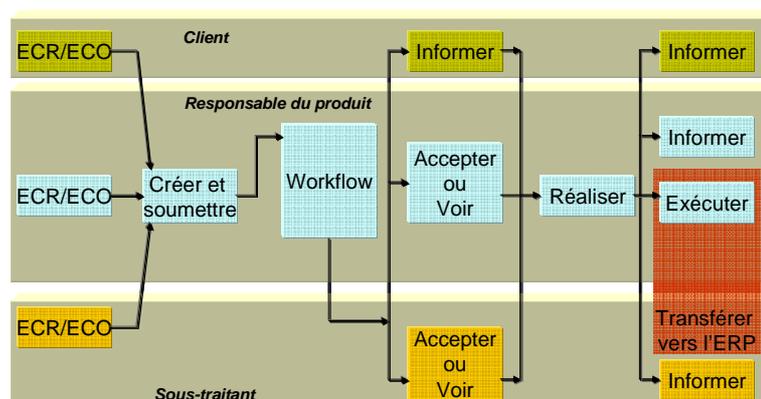


Figure 5.8. Processus de changement

Quand l'ECO est prêt et que toutes les informations nécessaires ont été collectées le système « connaît » le type de mesures à améliorer et peut informer toutes les parties concernées par le changement à faire sur le produit. De même, les personnes qui essaient de rechercher des documents mis à jour dans le système seront informées des modifications. Dès que le plan des changements est établi, les personnes responsables du changement vérifient la situation globale et réalisent les documents, articles ou structures pour la distribution. Ceci est souvent désigné sous le nom de la publication ou de la libération des documents ou des structures pour la production « Release ».

Les documents mis à jour et complétés sont enregistrés dans une base de dossiers. Le système génère automatiquement un numéro de la nouvelle version de chaque document, composants ou structures, bien qu'habituellement les versions des articles et des structures puissent également être changés manuellement. Avec le document du composant, le changement dans une version ou dans une phase du cycle de vie du composant, déclenche le transfert de l'information via les systèmes ERP (Enterprise Resource Planning). En d'autres termes, la production ou la fourniture du nouveau composant, mis en application durant le changement, peut commencer.

Finalement, le système informe les parties concernées par les changements faits à travers un ECN (Engineering Change Note) : Note du Changement Technique.

## **4. DEMARCHE D'INTEGRATION DES EXIGENCES**

Après avoir abordé la phase de décision en conception, nous avons conclu de l'importance de l'étude des exigences émises dans le cahier des charges sur tout le processus d'intégration de l'ingénierie des exigences afin de prévoir l'impact du changement d'exigence sur le système de production.

### **4.1. Les Exigences**

Lorsque nous avons un CR ou l'évolution vers un système opérationnel ou un système en cours de développement, nous pouvons trouver un grand nombre de processus pour connaître l'impact du changement. Les principaux processus pour une évolution sont: (1) Initialisation de la demande, (2) le lien de traçabilité, (3) l'analyse de changement en utilisant une méthode formelle pour connaître l'impact de

ce changement, (4) la gestion de l'approbation du changement, (5) l'application du changement: lorsque nous n'avons pas d'impact (sur la sécurité), la demande de changement doit intégrer le modèle des exigences, le modèle de conception et doit être mise en œuvre, (6) valider le fait que la demande a bien été mise en œuvre [MES-05a].

Tableau 5.1. Processus de l'EIA632 qui doivent être ré-accomplis lors du CR ou d'une évolution.

<b>Processus pour l'évolution</b>	<b>Processus dans l'EIA-632 doivent être ré-accomplis avec l'évolution</b>
(1)	Processus de définition des exigences.
(2), (3)	Processus de définition de la solution (pour analyser l'impact).
(4)	Exigences du processus de contrôle.
(5)	Processus d'implémentation.
(6)	Processus de validation des exigences.

Comme nous pouvons le constater, nous avons de nombreux processus pour aider le développeur dans la réingénierie du système. Les processus dans l'EIA-632 qui doivent être ré-exécutés lorsque nous avons une demande de changement ou une évolution sont énumérés dans le tableau 5.1.

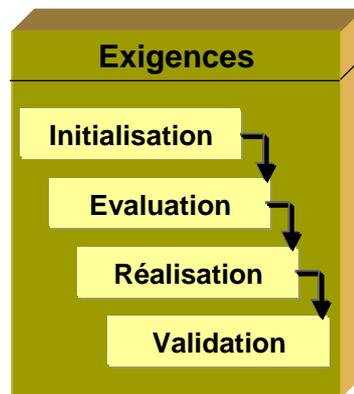


Figure 5.9. Etapes d'évolution d'une exigence

Dans notre étude, nous traitons l'impact des évolutions de façon homogène. Ainsi, les quatre principales phases du processus de demande de changement sont : (1) initialisation du CR (demande de changement), (2) évaluation du CR, (3)

implémentation du changement, (4) vérification et validation du changement pour s'assurer que le changement a été fait correctement (cf. figure 5.10).

Chaque phase contient plusieurs étapes qui peuvent être vues comme des processus internes. Par exemple, la phase d'initialisation contient deux processus qui sont : le processus d'identification de la demande de changement, et le processus de la soumission. Par contre, la phase de l'évaluation est formée de quatre processus internes et contient le processus d'analyse. Ce dernier, sert à analyser l'impact de changement sur le produit capacitant.

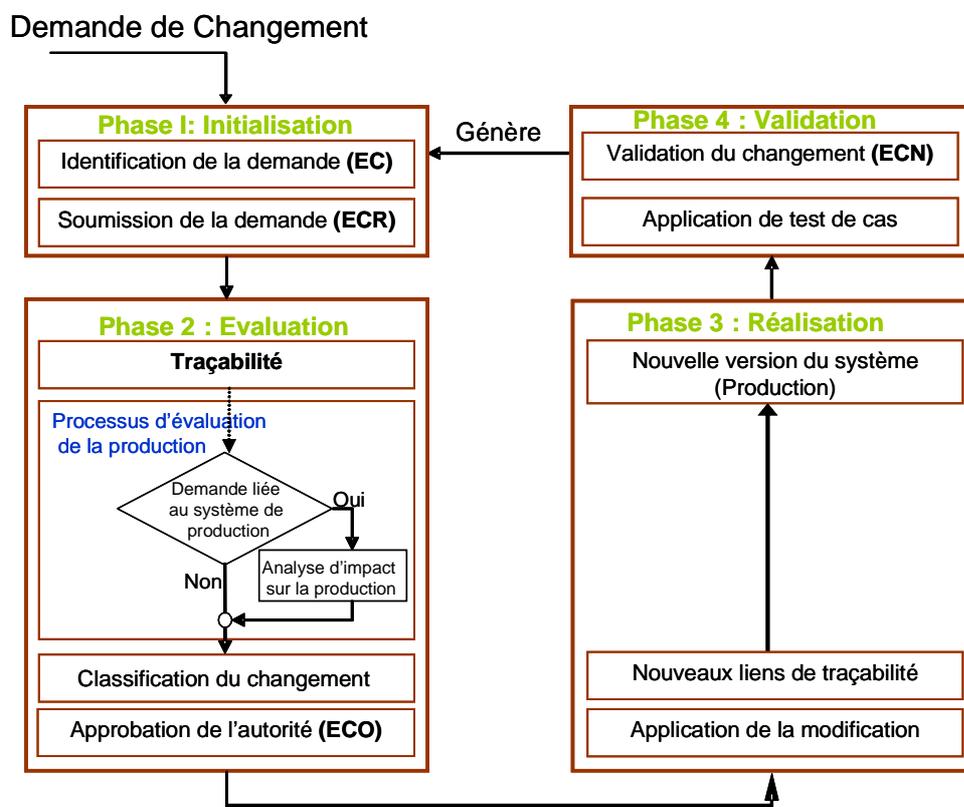


Figure 5.10. Etapes détaillées d'évolution d'une exigence

#### 4.1.1. Phase 1 : Initialisation

La phase d'initialisation du processus de changement des exigences implique la détermination des sources et les justifications pour le changement. Le processus de changement des exigences commence dès l'émission de l'ECR.

Quand un changement d'exigence est lancé, le système PLM fournit la base pour la création d'un ECR. La personne présentant l'ECR définit le contexte du

changement, les articles (pièces, ensembles, ou documents) affectés par le changement, et une description des raisons du changement. Un ECR peut contenir d'autres documents tels que des schémas de DAO. L'ECR est livré dans le système PLM à la personne chargée du changement selon le déroulement défini des opérations (cf. tableau 5.2).

*Tableau 5.2. initialisation*

<b>Entrée</b>	<b>Etapes</b>	<b>Données</b>	<b>Sortie</b>
Modification ou nouvelle exigence(s)	1. Identifier le changement Demandeur Type Raison  2. Examiner la traçabilité Type Liens  3. Assigner les ressources  4. Soumettre la requête		Engineering Change Request (ECR)

#### 4.1.2. Phase 2 : Evaluation

La phase d'évaluation du processus de changement d'exigences implique le développement des solutions possibles, l'analyse de leur impact et la prise de décision. Cette étape peut inclure un certain degré de prototypage selon la complexité des changements exigés. Elle peut inclure également une étude formelle de réalisation (manufacturabilité) avec rétroaction vers une étape de conception.

*Tableau 5.3. Evaluation*

<b>Entrée</b>	<b>Etape</b>	<b>Donnée</b>	<b>Sortie</b>
Engineering Change Request (ECR)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revoir la documentation du système</li> <li>• Déterminer l'impact sur le processus, produit final produits capacitants.</li> <li>• Classifier le changement et explorer les changements similaires.</li> <li>• Identifier les impacts sur le design du système.</li> <li>• Spécifications et changement de design.</li> <li>• Evaluer le « change request »</li> <li>• Autorité d'approbation</li> </ul>	Engineering Change Request (ECR)  Décomposition des systèmes Traçabilité des exigences	Engineering Change Order (ECO)

Cette phase commence dès que l'ECR est émis. Il est également possible qu'un ECO ait été fait directement. L'ECR est livré par le système PLM à la personne

responsable définie dans le système de gestion du déroulement des opérations (Workflow). Dès que le « quel genre de changements à faire aux processus et aux produits » est bien défini, les personnes chargées des changements émettent un ECO (cf. tableau 5.3).

La décision d'agir sur la demande de changement doit prendre en compte les liens entre les changements exigés du produit et les changements exigés au niveau du processus de fabrication. Or un processus de fabrication complet peut fournir les informations nécessaires permettant d'identifier, de la forme physique du produit, quels processus pièces et composants sont affectés. Il accentue également le lien entre les produits finaux (le système et sous-systèmes) et les produits capacitants combinés par le processus de fabrication pour produire le produit final. Une fois entièrement étudiée, la personne responsable va générer l'ECO dans le système PLM.

### 4.1.3. Phase 3 : Réalisation

La phase de réalisation du processus de changement d'exigence est de loin la plus impliquée et inclut l'exécution réelle du changement à travers l'organisation en cas de besoin (cf. tableau 5.4). Cette phase peut également inclure un certain prototypage.

Tableau 5.4. Réalisation

<b>Entrée</b>	<b>Etape</b>	<b>Donnée</b>	<b>Sortie</b>
Engineering Change Order (ECO)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Changement de documentation</li><li>• appliquer le changement à toutes les parties impactées (processus, produit, EN-P)</li><li>• appliquer les nouveaux liens pour la traçabilité</li><li>• Nouvelle configuration du système</li><li>• Planification de vérification de mise à jour</li></ul>	Processus avec des liens aux produits opérationnels et aux produits capacitants	Definition d'un nouveau processus  Planification des vérifications

Le changement d'exigence peut causer un ou plusieurs changements suivants:

- Changements de processus (nouvelle version de processus X+1)
- Changements de produits (version de nouveaux produits Y+1)

- Changements de produits capacitants (nouvelle version de produits capacitants Z+1)

Des humains impliqués dans le processus tel que les opérateurs pourraient être considérés comme des produits capacitants. Ceux-ci peuvent aussi subir des changements si le processus qu'ils doivent effectuer est changé, pour formation additionnelle par exemple, ou modification des conditions de travail.

#### 4.1.4. Phase 4 : Validation

Cette phase a pour but de valider la bonne réalisation de la demande de changement, et de vérifier que ce qui a été présenté et demandé au niveau de la phase d'initialisation de la demande correspond bien à ce qui a été réalisé.

La validation peut avoir lieu à plusieurs niveaux sur une période prolongée. Par exemple si la demande survient en raison d'une demande du client, alors le procédé de validation devra attendre jusqu'à la mise en service et l'exploitation du nouveau produit final. (cf. tableau 5.5)

Tableau 5.5. Validation

<b>Entrée</b>	<b>Etape</b>	<b>Donnée</b>	<b>Sortie</b>
Plan de vérification	<ul style="list-style-type: none"><li>• Générer les cas de test pour le changement</li><li>• Mise à jour de la suite des tests</li><li>• Améliorer le test d'intégration</li><li>• conduite du test d'acceptation</li><li>• Approuver le changement</li></ul>		Approbation du changement  Engineering Change Note (ECN)

La démarche demande que la validation de l'exigence soit faite sur les deux parties, le produit final et le produit capacitant. Comme le montre la (cf. figure 5.11) l'impact de la nouvelle exigence relative au produit capacitant (production dans notre exemple) va nécessiter un changement. Du coup le produit capacitant va alors renvoyer son accord pour ce changement ou son désaccord.

Cette validation nous renvoi la confirmation de la faisabilité du changement. Elle évite d'aller plus loin dans la mesure où les systèmes annexes ne peuvent pas supporter le changement.

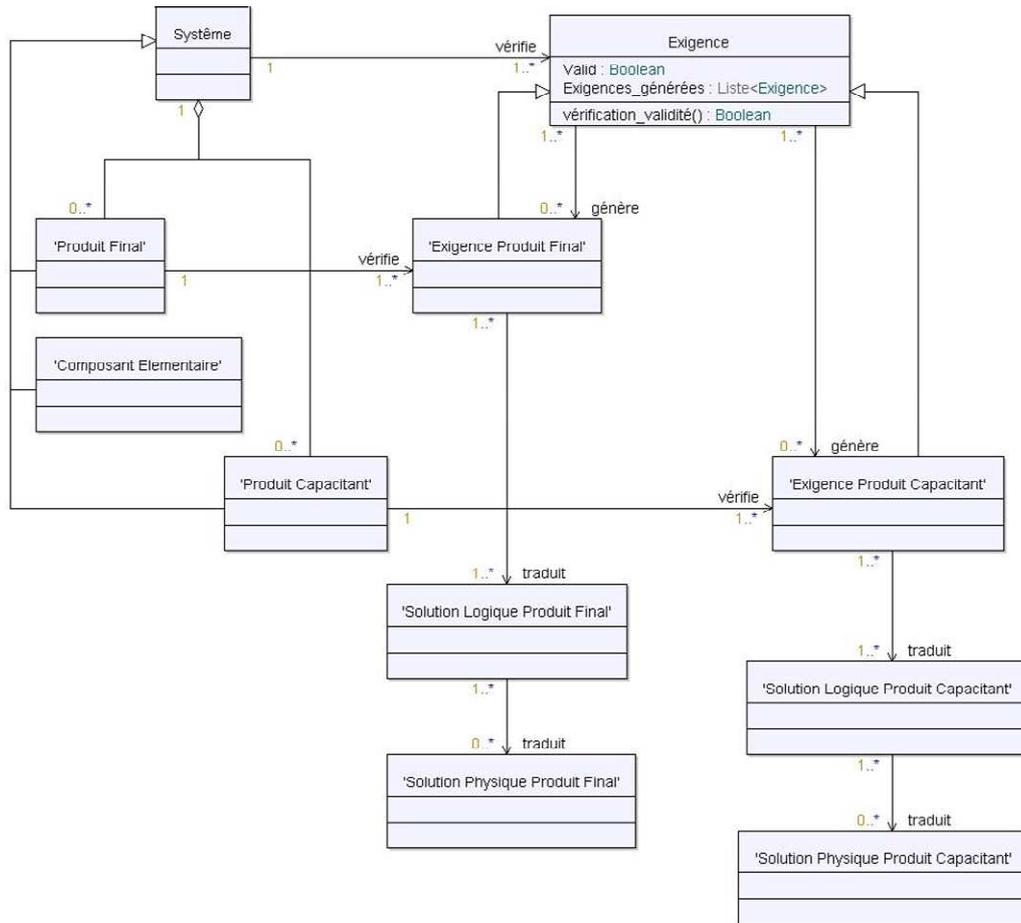


Figure 5.11. Modèle d'intégration

Les classes concernant la solution physique et logique, sont des classes qui appartiennent à des paquetages. C'est une représentation plus réaliste car plusieurs solutions sont proposées et qu'un choix doit être fait.

La solution logique est obtenue comme indiqué par le diagramme d'activité (cf. figure. Annexe 6), la classe solution physique est obtenue par (cf. figure. Annexe7). Il faut aussi noter que pour le produit capacitant fait appel à la même démarche de solutions (logique, physique) car il a les propriétés du système.

En intégrant les deux modèles du chapitre 4, qui représentent le modèle de lien ainsi que celui de système de production. Nous aurons le modèle présenté dans la figure 5.12.

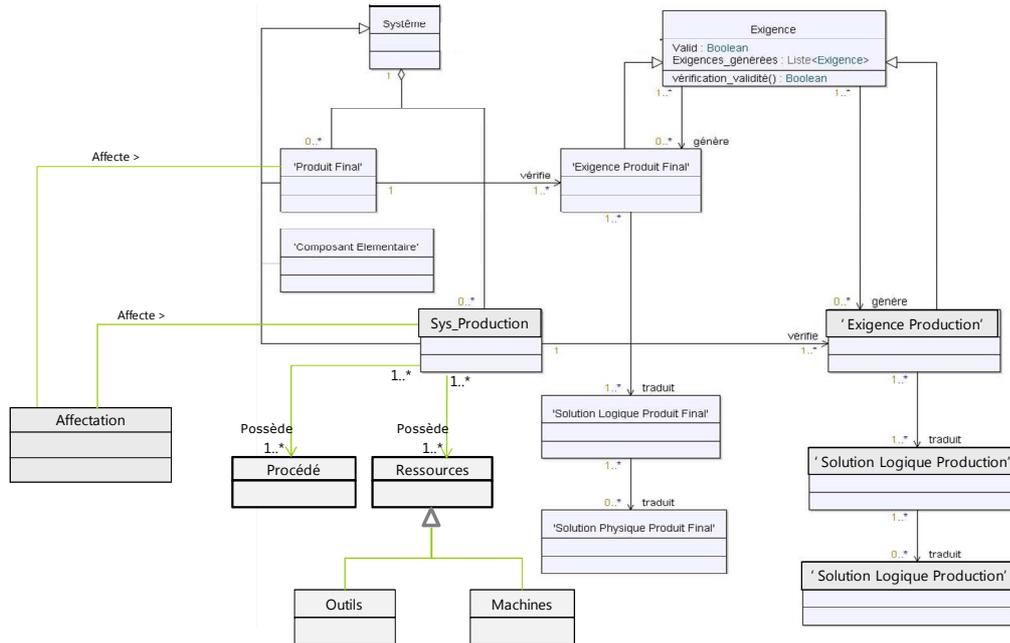


Figure 5.12. Modèle d'intégration détaillé

Les processus définissant les solutions physiques ainsi que logiques sont représentés dans la norme EIA632. Nous citons le travail de modélisation des processus de la norme [TOP-06] représentant les paquetages qui nous concernent.

Pour le lien produit final et produit capacitant nous adoptons le PLM afin d'assurer le lien et les processus de choix des solutions.

## 4.2. Exemple du vélo

La norme EIA 632 traduit la conception d'un système en deux processus principaux, si l'on met de côté les aspects de vérification et de validation (traités de façon transverse aux autres processus) :

- La conception de la solution logique.
- La conception de la solution physique.

La figure 5.13, présente l'impact sur le produit d'une nouvelle exigence qui a évoluée tout au long du développement.

Au départ, la nouvelle exigence était la conception d'un nouveau vélo confortable ; elle s'est traduite par l'ajout d'un amortisseur. Le vélo existant est un vélo à cadre rigide, donc la fabrication se fait par l'assemblage et la soudure de tubes,...

La nouvelle exigence a fait évoluer le système vers un produit nouveau, une nouvelle génération de vélo. Cette nouvelle exigence de vélo confortable a impliqué le changement de l'exigence de départ qui était un cadre rigide vers un cadre à articulation pour supporter l'amortisseur.

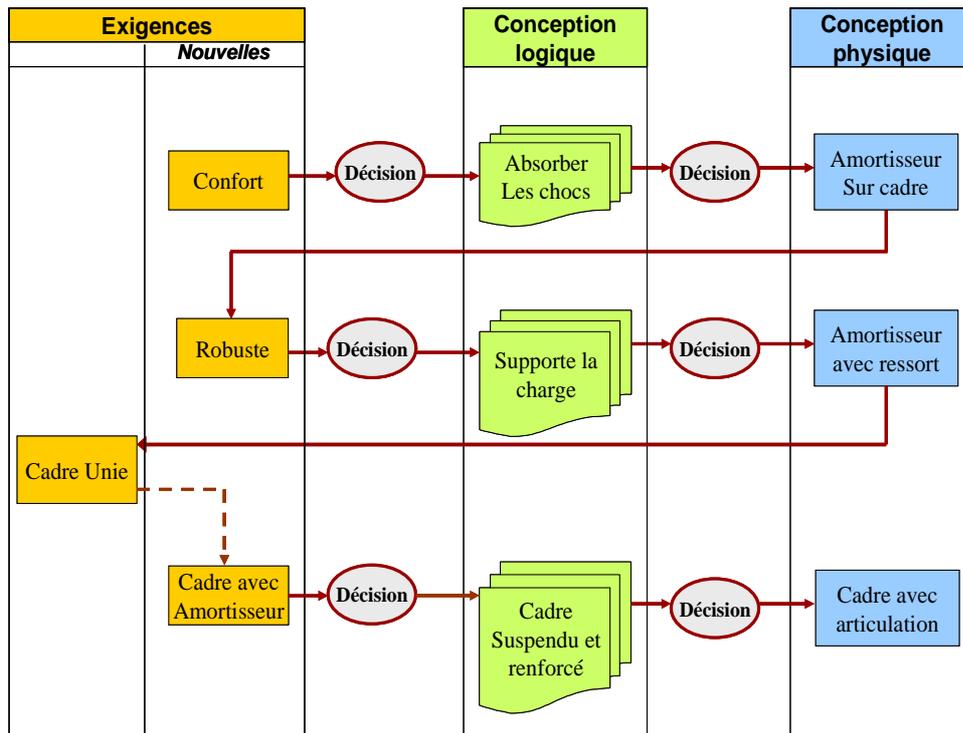


Figure 5.13. Evolution de l'exigence

Après que l'équipe d'ingénierie ait établi le nouveau produit et son système de production, le système PLM assure la collaboration et l'acheminement des informations dans le but de lier toute partie affectée par le changement. Cela est montré dans la figure 5.13 où nous pouvons voir le cheminement de l'ECR/ECO jusqu'au transfert vers les autres systèmes tel que l'ERP.

Nous adoptons l'approche du lien pour la production de vélo et nous nous concentrons sur PLM. Le vélo est le produit final en terminologie d'IS que nous appliquons à travers notre représentation (cf. figure 5.13). Nous présentons notre vue

du système (processus, produit final, produit capacitants). Un tel environnement pour la fabrication de vélos s'appuie sur les processus PLM comme système d'information.

La fabrication est une partie du cycle de vie du produit couverte par le PLM qui contient les processus de la fabrication du produit.

Dans cet exemple, le produit final (ou le système) serait le vélo fini. Les produits finaux des sous-systèmes incluent des éléments comme les roues, le guidon, le cadre, etc.

Chaque association entre le produit et les systèmes de production peut être contrôlée comme relation entre les systèmes de chaque structure hiérarchique du système.

La figure 5.14 du vélo, nous pouvons voir le processus de la fabrication (x), qui définit la fabrication de toutes les pièces du vélo jusqu'au produit final. Quand la nouvelle exigence est émise, comme ajouter un amortisseur (ressort) au niveau du cadre du vélo, la décision est contrôlée par le système de PLM.

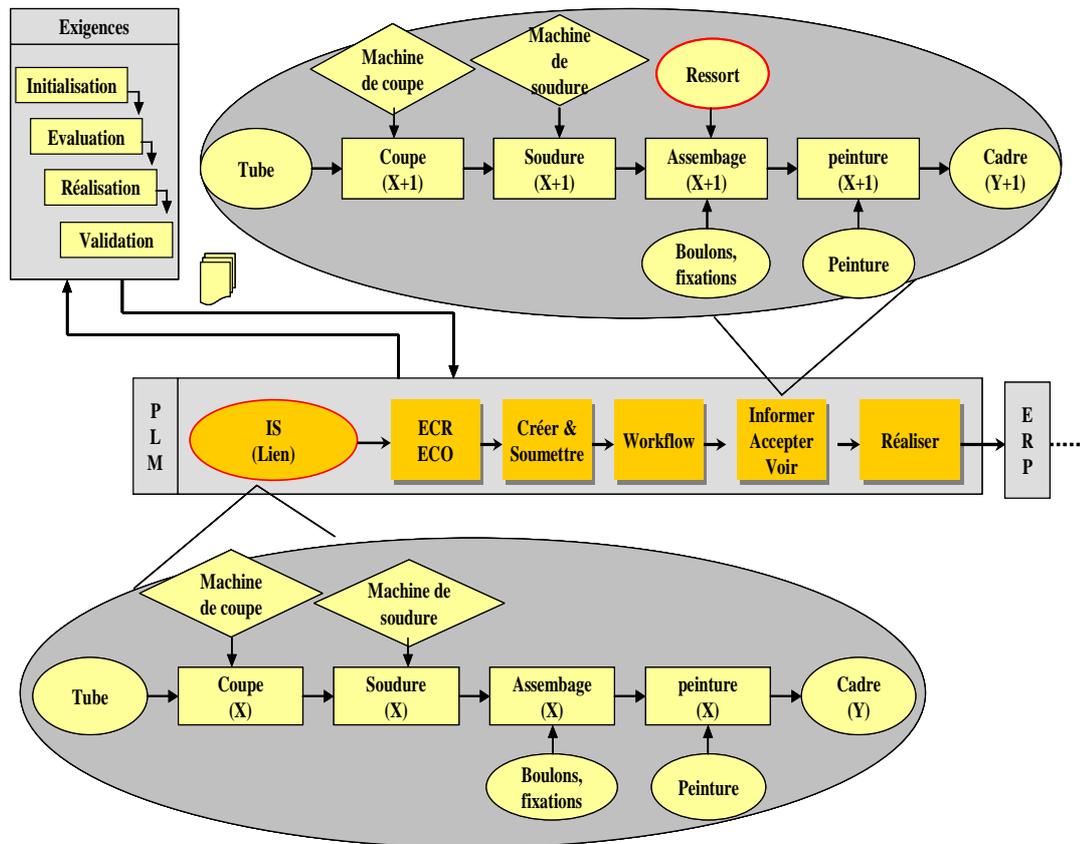


Figure 5.14. processus de fabrication du cadre du vélo

Dès que l'exigence est émise, elle est transférée par l'intermédiaire du PLM vers l'équipe d'ingénierie qui tiendra compte du lien établi auparavant entre le vélo et son système de fabrication. Cela lui permettra de définir l'impact de l'addition de l'amortisseur sur le vélo et le système fabrication il en résulte en conséquence le changement des processus de fabrication, la formation du personnel, etc.

Le PLM a la responsabilité de véhiculer l'émission de l'ECR qui sera validée afin d'établir le nouveau vélo (Y+1) avec l'amortisseur et ses nouveaux processus de fabrication (X+1) pour un nouveau cadre de fabrication et une nouvelle reprogrammation/partielle des machines....

Le PLM aura également la responsabilité de sauvegarder et mettre à jour le nouveau produit et son processus de fabrication (cf. figure 5.15).

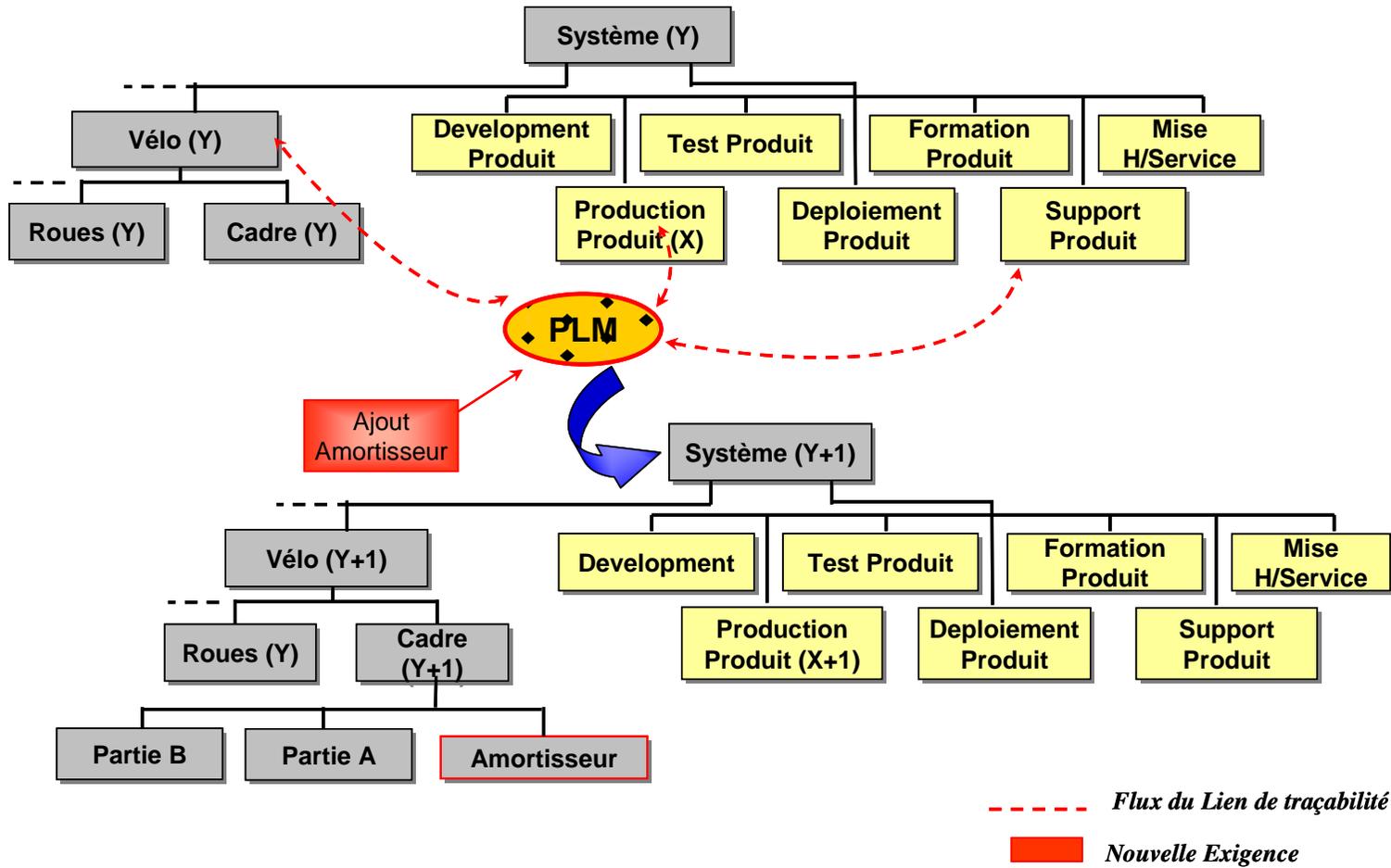


Figure 5.15. Lien des systèmes production et produit

## 5. APPROCHE DE L'INTEGRATION DE LA DEMARCHE

Après avoir fait la proposition d'une démarche et présenté le scénario de l'étude d'impact du changement du produit sur le système capacitant (en particulier le système de production), nous allons essayer d'intégrer cette démarche sur les processus courants.

### 5.1. INTEGRATION AU NIVEAU AFIS

L'objectif est d'apporter une amélioration, sans remettre en cause le modèle générique lui-même.

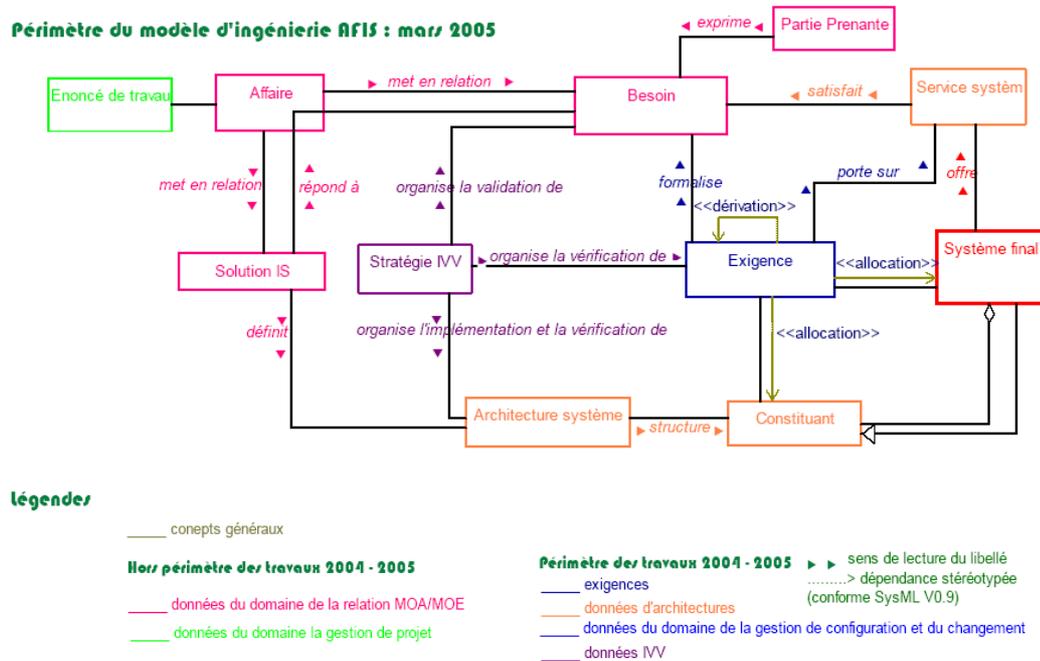


Figure 5.16. Modèle conceptuel de données IS, AFIS mars 2005

Notre apport se situe au niveau du lien exigences, système final et produits capacitants. La définition des classes est présentée en annexe. Dans le cas du modèle de la figure 5.17 (plus en détail sur la figure 5.18 où la partie proposée est encerclée) notre approche sera d'introduire le lien du produit final (système final) et les produits capacitants (la production entre autre), et cela à travers les exigences.

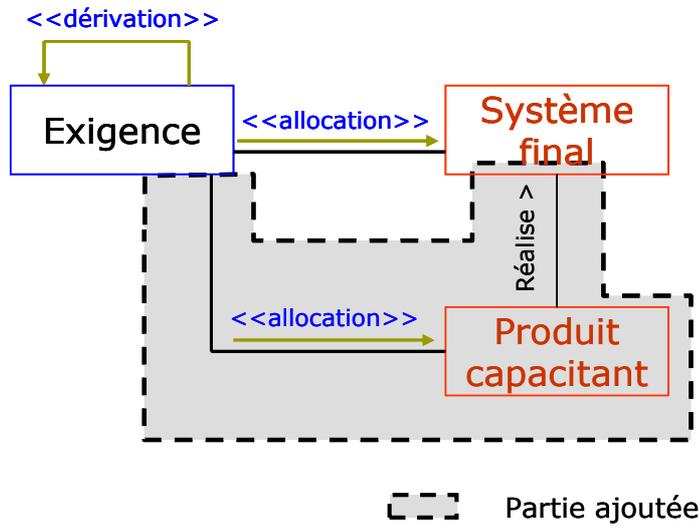


Figure 5.17. Proposition pour le modèle AFIS

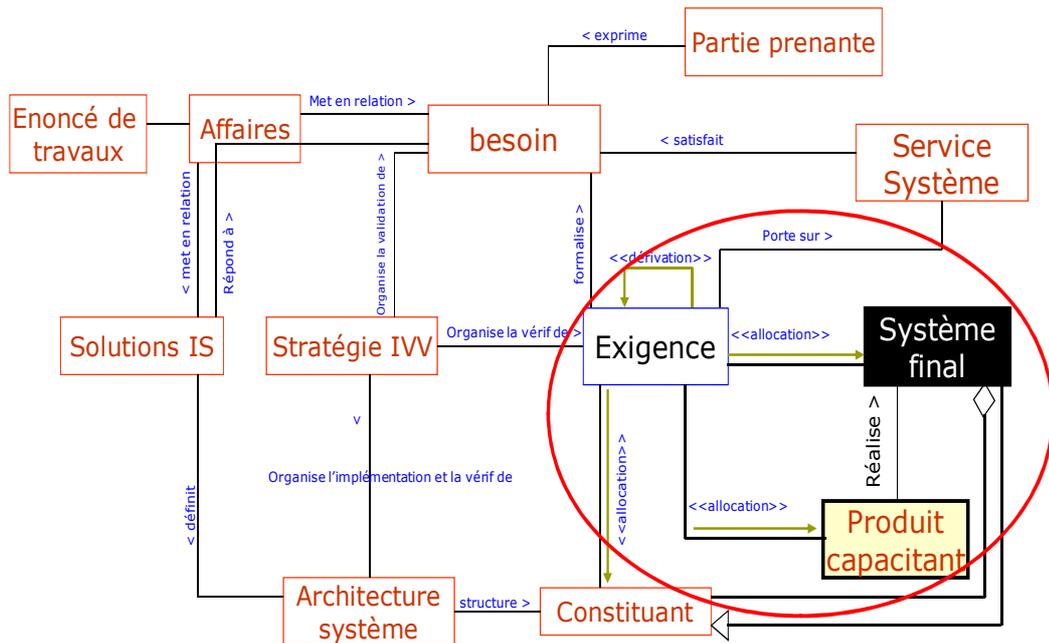


Figure 5.18. Proposition pour le modèle AFIS (détaillée)

Tableau 5.6. description

Nom	Description
<b>Produit Capacitant</b>	Regroupe les produits permettant la réalisation du produit final. <u>Commentaires</u> Produit capacitant est l'enabling product selon la norme EIA632, qui peut être : produit de développement, de maintenance de production,..

Nous voyons aussi l'apport au niveau du diagramme de classes (vue exigence) de l'AFIS.

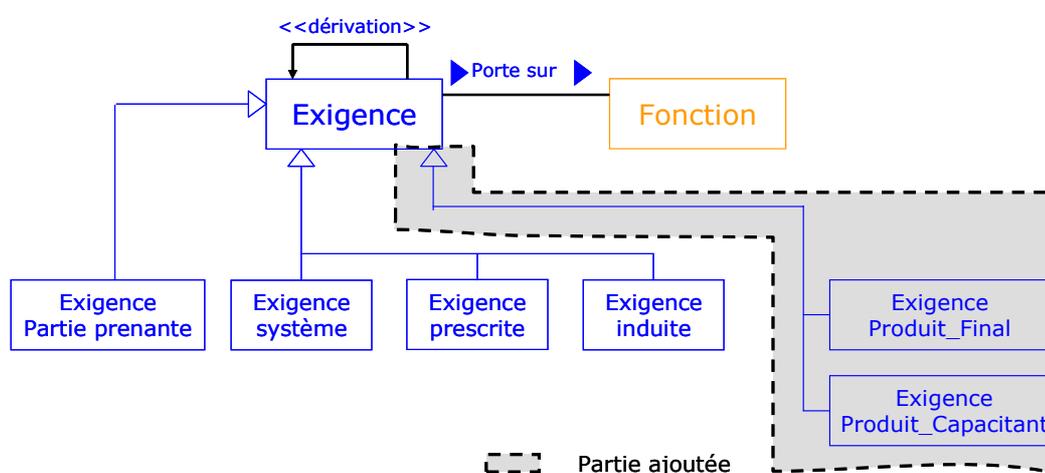


Figure 5.19. Proposition pour le modèle AFIS

Tableau 5.7. Description

Nom	description
Exigence produit final	Exigences concernant le produit final (comme défini dans la norme EIA 632)
Exigence produit capacitant	Exigences concernant les produits capacitants (comme défini dans la norme EIA 632)

Nous voyons aussi l'apport au niveau du diagramme de classes (vue exigence) et qui est toujours le modèle de l'AFIS.

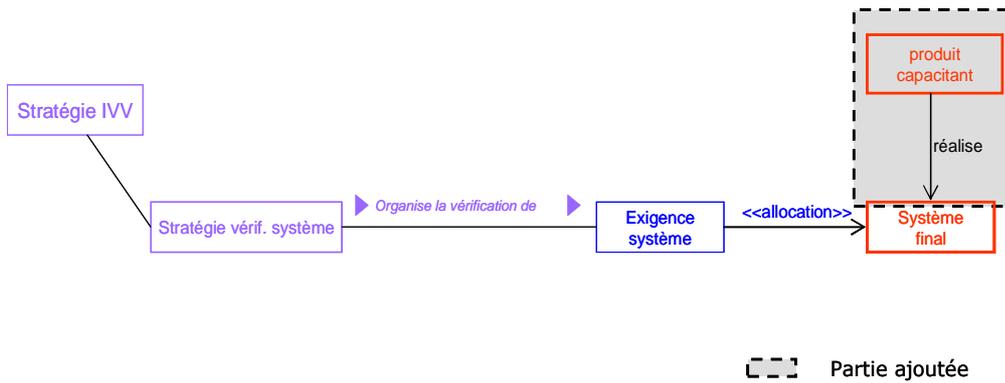


Figure 5.20. Proposition pour le modèle AFIS

## 5.2. INTEGRATION AU NIVEAU DU MODELE CPM

Le CPM est le modèle de produit qui nous intéresse et qui répond à la définition du produit que nous voulons. Dans la figure 5.21 nous reprenons une partie du modèle où apparaît la classe exigence et à laquelle nous ajoutons notre proposition.

Aussi il faut souligner que la classe « Artifact » correspond à la classe produit final dans notre modèle, étant donnée que notre produit final est composé de sous produits jusqu'à l'élément de base.

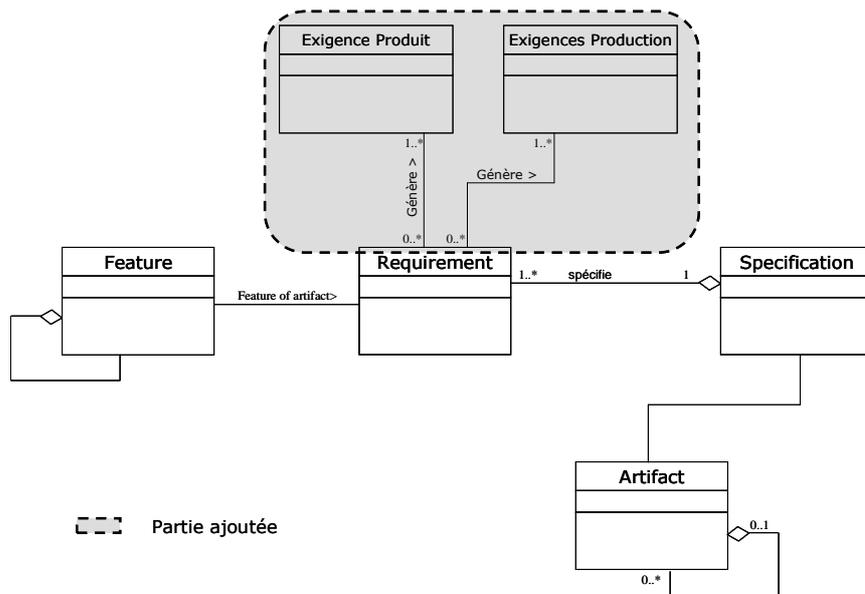


Figure 5.21. Raffinement de la classe requirement du modèle CPM

## **6. CONCLUSION**

Ce chapitre met en œuvre notre approche de lien, qui se résume au processus de recherche de partenaires, à la sélection des parties concernées et l'établissement de la collaboration pour le développement du produit. Pour cela, nous avons eu recours à l'ingénierie des exigences. L'ingénierie des exigences intervient tout au début du développement de l'application, afin de définir clairement les exigences auxquelles doit répondre cette application avant de concevoir le système. Dans certain cas, elle constitue même la première phase du développement de l'application.

L'ingénierie des exigences fait appel à d'autres méthodes d'implication des utilisateurs tels que les questionnaires, les interviews, l'observation, le brainstorming ou le prototypage. Pour cela nous avons intégré les processus dit (processus PLM) dans la phase de développement du produit. Cela a nécessité des processus de développement partagés par l'implication des parties prenantes et la gestion du changement. Le processus de changement débute par l'EC qui deviendra un ECR puis (ou) ECO pour finir par une ECN (ce qui se traduit par le passage vers l'ERP).

L'application de notre approche a été présentée à travers l'exemple du vélo. Effectivement l'ajout d'une nouvelle exigence affecte le système de production et cela peut être pris en considération dès les premières phases de conception. Cette prise en compte se traduit par la validation de la nouvelle exigence par les deux parties concernée, le produit final et le produit capacitant.



# **Conclusion générale**

---



# Conclusion Générale

## C CONCLUSION GENERALE

---

Nos travaux ont porté principalement sur l'étude des systèmes d'information dans l'industrie manufacturière. Nous avons traité cette problématique de façon conceptuelle et cherché à établir les bases d'une approche enrichie du processus d'ingénierie de système. Nous avons présenté un ensemble de propositions visant à améliorer la production manufacturière de produits.

Dans une première phase, nous avons dressé un état de l'art relatif à la gestion du produit tout au long de son cycle de vie. Concernant l'aspect cycle de vie nous avons suivi la piste des normes et leurs processus. Effectivement plusieurs normes toutes différentes, interviennent durant le cycle de vie du produit, d'où le besoin naissant de processus harmonisés.

L'autre aspect est celui du produit, et suite à l'étude de quelques modèles de produits développés dans une vision PLM, nous avons présenté la nouvelle génération de modèle produits qui associe au produit physique les informations le concernant.

La deuxième phase du travail est celle de la contribution. Elle s'est limitée spécifiquement à deux éléments.

Le premier élément qui est l'élément de base, concerne l'étude des systèmes manufacturiers dans un cadre ingénierie système et l'exploitation de la norme EIA-632 et ses processus pour la structuration du système. Cette structuration a permis de dégager un couplage clair entre le produit final et les produits capacitants (produits contributeurs, enabling products). De cette structuration, il a été proposé que la gestion du cycle de vie de produit (PLM) puisse gérer ces interactions produit final et système de production.

Le deuxième élément a porté sur les processus intégrés dans la gestion du cycle de vie (PLM) pour gérer l'évolution des exigences et leurs impacts sur le système de production en intégrant le modèle de traçabilité correspondant.

L'approche a été expérimentée sur le plan d'étude sur un exemple. Le temps et la non disponibilité de plateforme n'a pas permis de l'expérimenter sur un site industriel.

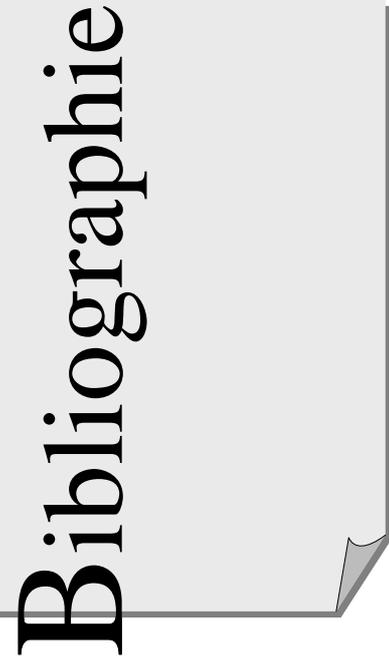
Une continuation de ces travaux permettra, sur le plan des processus, d'enrichir le PLM qui est encore vu comme un simple outil logiciel de gestion d'information. Mais, il sera nécessaire d'ajouter les processus interface avec les autres processus métiers et logistiques. Le prolongement du travail pourrait aussi concerner tous les produits capacitants tel que la maintenance, le déploiement et la mise hors service du produit etc. Il y va de la survie de l'industrie manufacturière flexible. Une amélioration notable consiste en l'intégration d'outils de gestion des exigences et de traçabilité.

Une approche préliminaire pour le problème du changement et son impact, nécessite d'approfondir l'intégration des modèles de données pour appliquer l'approche à des outils PLM existants tel que (CATIA V6) et établir des invariants qui faciliteront la recherche de cet impact.

# Bibliographie

---





# Bibliographie

## BIBLIOGRAPHIE

---

- [AFIS] AFIS (Association Française d'Ingénierie Système). <http://www.afis.fr>
- [AND-98] B. Andersen, A. Rolstadas, T. Fagerhaug; "*Practical Productivity Measurement, Proceedings*". 10th Working Seminar on Production Economics, Innsbruck/Igls, Austria, 1998.
- [ARN-04] M. Arnaud; « *Les TIC alternatives à la mondialisation* ». Revue Hermès, n°40, Paris, CNRS éditions, 2004.
- [BER-01] T. Berners-Lee, J. Hendler, O. Lassila; "*The Semantic Web, A new form of Web content that is meaningful to computers will unleash a revolution of new possibilities*". Scientific American, 2001.

- [BER-03] L. Berviller, R. Bigot, P. Martin; "*Contribution à la mise en place de la traçabilité technologique. Illustration dans le cadre du processus de conception et fabrication de pignons forgés de différentiels*", 2003.
- [BIS-06] A. Biswas, S. Fenves, v. Shapiro, R.D. Sriram; "*Representation of Heterogeneous Material Properties in the Core Product Model*", To appear in *Engineering with Computers*, 2006.
- [BOC-05] H. Boccon-Gibod ; "*Application de méthodes et outils du Web sémantique pour la gouvernance d'un système d'information industriel*" Electricité de France R&D, Département SINETICS, 2005.
- [BOH-91] S.A. Bohner; "*Software change impact analysis for design evolution*". Proceedings of the International Conference on Software Maintenance and Reengineering, 8:292-301, 1991.
- [BOH-96] S.A. Bohner, R. S. Arnold; "*Software Change Impact Analysis*". IEEE Computer Society Press, Los Alamitos, 1996.
- [BON-04] R. Bonnet, *Décision Informatique* (n° 608), 01net.com. Article (256306), 2004.
- [BOU-95] M. Bouazza, "*Le langage EXPRESS*", Editions Hermès, 1995.
- [BUR-98] J.V Buren, D. cook: "*Experiences in the Adoption of Requirements Engineering Technologies*", *Journal of Defence Software Engineering*, December, pp.3-10, 1998.
- [BUS-03] C. Bussler; "*B2B Integration: Concepts and Architecture*", Springer, 2003.
- [CAD-04] *Cad-magazine*, « *PLM et PME: un couple en devenir* ». Articles numéro 119, 2004.
- [CAR-04] R.S. Carson, E. Aslaksen, G. Caple, P. Davies, R. Gonzales, R. Kohl, A.E.K. Sahraoui; "*Requirements completeness*".14th Annual International Symposium INCOSE, 15p, Toulouse (France), 2004.
- [CIM-93] CIMOSA - Open System Architecture for CIM; ESPRIT Consortium AMICE, Springer-Verlag, Berlin, (ISBN 3-540-56256-7), 1993.
- [COD-99] A. Codrino; "*Business. Process Reengineering e-Business Process Automation: moda o esigenza*", 1999.

- [COU-07] C. Coulin; *"A situational approach and intelligent tool for collaborative requirements elicitation"*. Thèse, Université Paul Sabatier, Toulouse, 2007.
- [CHA-03] B. Chabot ; *"Les Systèmes d'Information Produit dans les industries des métiers de la formulation"*. « Product Life cycle Management », La Lettre d'ADELI n°52- 2003.
- [CHE-04] L. Chen, T. Wang, Z. Song; *"A Web-based Product Structure Manager to Support Collaborative Assembly Modeling"*, Journal of Computing and Information Science in Engineering, vol. 4, n°1, p p. 67-78, 2004.
- [CHO-02] E. Choveau, P. De Chazelle; *"Application de l'Ingénierie Système pour la définition d'une démarche d'Ingénierie des Exigences pour l'AIRBUS A380 "*, 2002.
- [CLI-04] V. Clivillé ; *" Approche systémique pour la mesure de performance "*, Thèse génie industriel, Université de Savoie, 1992.
- [CLU-07] Gestion et Organisation des Systèmes de Production et de l'Innovation, La Lettre du Cluster gospi n°3 – déc. 2007. [www.cluster-gospo.fr](http://www.cluster-gospo.fr)
- [CMM-02] CMMI; *"Capability Maturity Model Integration, CMMI for Systems Engineering and Software Engineering Capability Maturity Model Integration"*, (CMMI-SE/SW, V1.1), CMU/SEI-2002-TR-001.
- [COU-05a] C. Coulin, A.E.K. Sahraoui; *"A meta-model based guided approach to collaborative requirements elicitation for software systems development"*, 18th International Conference on Software & Systems Engineering and their Applications (ICSSEA'2005), 6p, Paris (France), 2005.
- [COU-05b] C. Coulin, D. Zowghil, A.E.K. Sahraoui; *"A lightweight workshop-centric situational approach for the early stages of requirements elicitation in software systems development"*, 13th IEEE International Requirements Engineering Conference (RE'2005), 10p, Paris (France), 2005.
- [COU-05c] C. Coulin, D. Zowghil, A.E.K. Sahraoui, *"Towards a collaborative and combinational approach to requirements elicitation within systems engineering framework "*,18th International Conference on Systems Engineering (ICEng'05), pp.456-461, Las Vegas (USA), 2005.
- [DEB-04] D. Debaecker ; *"PLM la gestion collaborative du cycle de vie des produits"*, Hermes-Lavoisier, ISBN 2-7462-0884-9, 2004.

- [DEC-02] P. De Chazelle, et al: "*Cadre d'application de l'ingénierie système pour la conception d'un avion commercial*", 2002.
- [DEH-06] L. Deshayes, S. Foufou, M. Gruninger; "*An Ontology Architecture for Standards Integration and Conformance in Manufacturing*", Proceedings of the IDMME 2006, Grenoble, France, 2006.
- [DES-05] G. Dessenne, "*RFID: Règlements et standards*". Veille Technologique N°32 - 2005.
- [ELJ-04a] M.H. ElJamal; "*Requirements evolution and impacts on safety*", IFIP j18th World Computer Congress, Student Forum, Toulouse (France), 2004.
- [ELJ-04b] M.H. Eljamal ; "*Problématique du changement d'exigences et impact sur la sécurité*", Groupement d'Echange Thématique Sûreté de Fonctionnement (GET SDF). Atelier Sûreté de Fonctionnement et Maîtrise des Risques, 2004.
- [ELJ-05a] M.H. Eljamal ; "*Dynamic design and invariants properties*". 3rd Annual Conference on Systems Engineering Research (CSER'2005), New Jersey (USA), 2005.
- [ELJ-05b] M.H. Eljamal, A.E.K. Sahraoui; "*Towards a methodology for requirements evolution and impact on safety requirements* ", 6ème Congrès International Pluridisciplinaire "Qualité et Sûreté de Fonctionnement" (QUALITA 2005), Bordeaux (France), 2005.
- [ELJ-05c] M.H. Eljamal, A.E.K. Sahraoui; "*Customizing systems engineering concepts: case study on concurrent engineering*", 12th Annual European Concurrent Engineering Conference (ECEC'2005), Toulouse (France), 2005.
- [ELJ-05d] M.H. Eljamal, A.E.K. Sahraoui; "*Customizing systems engineering concepts: case study on concurrent engineering*", 12th Annual European Concurrent Engineering Conference (ECEC'2005), Toulouse (France), 2005.
- [ELJ-06] M.H. Eljamal; "*Contribution à l'évolution des exigences et son impact sur la sécurité*", Thèse de doctorat, 2006.
- [ELH-03] M. El-Hadj Mimoune, G. Pierra, Y. Aït-Ameur; "*An Ontologybased approach for exchanging data between heterogeneous database systems*", ICEIS'03, vol. 4, ESEO, Angers, 2003.

- [ELH-04] M. EL-Hadj Mimoune; « *Contribution à la modélisation explicite et à la représentation des données de composants industriels : application au modèle PLIB* ». Thèse de doctorat, 2004.
- [ELO-01] E. Eloranta, A.P. Hameri, L. Lahti; “*Improved project management through improved document management*”, Computers in Industry, vol. 45, n°3, pp. 231-243, 2001.
- [EYN-05] B. Eynard, S. Liénard, S. Charles, A. Odinot; “*Web based Collaborative Engineering Support System: Applications in Mechanical Design and Structural Analysis*”, Concurrent Engineering: Research & Applications, vol. 13, n°2, pp. 145-153, 2005.
- [EYN-05] B. Eynard ; « *Gestion du cycle de vie des produits et dynamique des connaissances industrielles en conception intégrée* », Présentée et soutenue publiquement en 2005.
- [FEN-02] S.J. Fenves; “*A core product model for representing design information*”. Technical Report NISTIR 6736, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD 20899, USA, 2002.
- [FEN-04] S.J. Fenves, S. Foufou, C. Bock, R. Sudarsan, N. Bouillon, R.D. Sriram ; « *CPM 2: A REVISED CORE PRODUCT MODEL FOR REPRESENTING DESIGN INFORMATION*”. NISTIR 7185, 2004.
- [FEN-05] S.J. Fenves, S. Foufou, Sebti, C. Bock, N. Bouillon, R.D. Sriram; “*CPM 2: A Revised Core Product Model for Representing Design Information*”, NISTIR 7185, 2005.
- [FIG-05] N. Figay; “*e-Collaborative Concurrent Engineering and PLM services*”, OMG documents. Department of Information Technologies for the Enterprise - EADS CCR, 2005
- [FIO-07] X. Fiorentini, I. Gambino, V.C. Liang, S. Foufou, R. Sudarsan, M. Mani, C. Bock; “*An Ontology for Assembly Representation*”, NISTIR 7436, 2007.
- [FOU-05] S. Foufou, S. Fenves, C. Bock, R. Sudarsan , R.D. Sriram; “*A Core Product Model for PLM with an Illustrative XML Implementation*”, Proceedings of the International Conference on PLM, Lyons, France, 2005.
- [GER-98] GERAM, IFIP-IFAC task force, Annex A to ISO 15704, ISO TC184/SC5/WG1 N423, 1998.

- [GRU-93] T. Gruber; "*What is an Ontology?*" <http://www-ksl.stanford.edu/kst/what-is-an-ontology.html> . 1993.
- [HIB-05] E. Hibon ; "*Une solution PLM pour l'exploitation et la maintenance d'installations industrielles*". MICAD 2005.
- [HON-05] L. Hongxin, F. Yushun, C. Dunne, P. Pedrazzoli; « *Integration of business processes in Web-based collaborative product development* ». International Journal of Computer Integrated Manufacturing. 2005.
- [ILI-02] R.C. Iliff; "*A Question of Context - Why Manufacturing Cultures Don't Understand Systems Engineering*". In International Council On Systems Engineering, Los Angeles, 2002.
- [JUR-02] N. Juristo, A. M. Moreno, A. Silva; "*Is the European industry moving toward solving requirements engineering problems?* ". IEEE Software, pp. 70-77, 2002.
- [KEM-99] S. Kemmerer; "*STEP: The Grand Experience*", (Editor of) NIST Special Publication 939, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, 1999.
- [KRA-89] H. Krasner; "*Requirements Dynamics in Large Software Projects*". 11th World Computer Congress, IFIP89, Amsterdam, the Netherlands, 1989.
- [LAN-98] M. Lane, A.L.M. Cavaye; "*Management of Requirements Volatility Enhances Software Development Productivity*". 3th Australian Conference on Requirements Engineering (ACRE 98), Geelong, Australia, 1998.
- [LAR-03] E. Lardeur, J.C. Bocquet; "*Systems Engineering used in Products and Manufacturing Systems development : case of Automotive Industry, in Recent Advances in Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering*", D.C. G. GOGU, P. CHEDMAIL and P. RAY, KLUWER Academic Publishers, 2003.
- [LEV-03] N. Leveson; "*A New Approach to Hazard Analysis for Complex Systems*", International Conference of the System Safety Society, Ottawa, 2003.
- [LI-06] H. Li, X. Liu, G. Feng, C. Wang; "*Product Modeling during Its Whole Lifecycle for Collaborative Design in PLM*". Proceedings of the 6th World Congress on Intelligent Control and Automation, China 2006.

- [LI -07] H. Li, Y. Fan, C. Dunne, P. Pedrazzoli. *"Integration of business processes in Web-based collaborative product development"*. International Journal of Computer Integrated Manufacturing, Vol. 18, No. 6, 2005.
- [MAL-98] Y. Malayia, J. Denton; *"Requirements Volatility and Defect Density"*, The 10th International Symposium on Software Reliability Engineering, Fort Collins, 1998.
- [MAR-94a] J.C.Marty ; *"Utilisation des statecharts pour une spécification structurée du contrôle des cellules flexibles"*, Doctorat, Institut National des Sciences Appliquées, Toulouse, N°304, 1994.
- [MAR-94b] J.C.Marty, M.Sartor; *"A specification method combining statecharts, activity-charts, and sart concepts in FMS study"*, 20th International Conference on Industrial Electronics, Control and Instrumentation (IECON'94), Bologne (Italie), 1994.
- [MAS-05] J.F. Masler; *"Les services Web avaient oublié la sécurité!"*, 01 Réseaux (n°110), 2001.
- [MAU-95] M. Maurino ; *« La gestion des données techniques »*, Masson, Paris.
- [MES-05a] M. Messaadia, M.H. EL-Jamal, A.E.K. Sahraoui; *"On Systems Engineering Deployment and Requirements Evolution"*, Proceedings of the 18th International Conference on Systems Engineering (ISCEng'05). IEEE, 2005.
- [MES-05b] M. Messadia, M.H. Eljamal, A.E.K. Sahraoui: *"Systems engineering processes deployment for PLM"*, International Conference on Product Lifecycle Management (PLM'05), Lyon, France, 2005.
- [MES-06a] M. Messadia, M. Djeghaba, A.E.K. Sahraoui; *"System engineering framework for manufacturing systems "*, International Conference on Control, Modelling and Diagnosis (ICCMD'06), Annaba (Algérie), 2006.
- [MES-06b] M. Messaadia, A.E.K. Sahraoui, K.D. Thoben, C. Hans; *"Systems Engineering Framework to Support Maintenance Systems"*. 12th International Conference on Concurrent Enterprising Palazzo delle Stelline, Milan, Italy, 2006.
- [MES-07a] M. Messaadia, A.E.K. Sahraoui, *« PLM as linkage process in a systems engineering framework »*. International Journal of Product Development, Vol.4, N°3/4, 2007.

- [MES-07b] M. Messaadia, A.E.K. Sahraoui; « *Integrating engineering processes in PLM context* ». The Second International Conference on Digital Information Management (ICDIM'07), Lyon (France), 2007.
- [MIC-02a] P. Micouin, E. Combes, J.P. Kieffer; "*The Uses of Argument in the Systems Engineering Process :An Application to Automotive Systems Engineering*", in: 3rd European Systems Engineering Conference, Toulouse, France, 2002.
- [MIC-02b] P. Micouin, J.P. Kieffer ; "*La place et les formes de la décision en ingénierie des systèmes*", 1ere Journée d'Etudes SIADIS, Brest, France, 2002.
- [MIC-06] P. Micouin ; '*Propositions Pour La Definition et la Mise en Place de Processus d'Ingénierie de Système : Application au cas de la conception concourante dans le secteur de l'automobile* », N° 2006 ENSAM, 2006.
- [MOR-03a] G. Morel, H. Panetto, R. Zaremba, F. Mayer; "*Manufacturing enterprise control and management system engineering rationales and open issues*", Annual Reviews in Control, 2003.
- [MOR-03b] G. Morel, B. Grabot; "In Engineering applications of artificial intelligence", Special issue on IMS 16, 2003.
- [NUR-04] N. Nurmuliani, D. Zowghi, S. Fowell; "*Analysis of Requirements Volatility during Software Development Life Cycle*". Proceedings of the Australian Software Engineering Conference (ASWEC), Melbourne, Australia, 2004.
- [ONK-98] S. Onkvisit, J.J. Shaw; "*Product Life Cycles and Product Management*". Quorum Books, Greenwood Press, Westport, Connecticut, 1998.
- [OUT-02] Outlook, Volume XIV – N°1, de juin 2002.
- [PAN-06] H. Panetto ; "*Meta-modèles et modèles pour l'intégration et l'interopérabilité des applications d'entreprises de production*", HDR le 4 décembre 2006.
- [PAR-05] D. PARET ; « *RFID techniques, enjeux et acteurs* ». Veille Technologique N°32, 2005.
- [PAT-05] L. Patil, R.D. Sriram; « *Ontology Formalization of Product Semantics for Product Lifecycle Management* », NISTIR 7274, 2005.

- [PER-02] J. Perriault, M. Arnaud, B. Juanals ; «*Les identifiants numériques humains, éléments pour un débat public*», Les Cahiers du numérique, volume 3, Paris, Hermès Lavoisier, 2002.
- [PIE-00] G. Pierra ; "*Représentation et échange de données techniques*", Mec. Ind., vol. 1, Elsevier SAS, pp. 397-414, 2000.
- [PLA-05] A. Plantec, V. Ribaud ; "*Un procédé de validation des métamodèles par les métadonnées*", Premières Journées sur l'Ingénierie Dirigée par les Modèles Paris, 2005.
- [POR-85] M. Porter; "*Competitive Advantage: creating and sustaining superior performance*". NY, The Free Press, 1985.
- [PRA-03] Alain Pradier. <http://www.pradierconsulting.com>
- [RIC-05] J. Richard. "*L'ECO-CONCEPTION : un atout dans la perspective du PLM*", Journée scientifique PLM : un acronyme pour une stratégie d'entreprise, 2005.
- [RIE-98] A. Riemp, G. Wide; "*Area Workflow Management- Creating Partnerships for the 21st Century*", Springer-Verlag: London, 1998.
- [RUS-04] M.S. Russell; "*Assessing the impact of requirements volatility on the SE Process using Bayesian*", INCOSE, Toulouse, 2004.
- [SAA-02] A. Saaksvuori, A. Immonen; "*Product Lifecycle Management*", Springer 2002.
- [SAI-06] D. Saint-Voirin, N. Zerhouni: "*Cooperative Systems Modeling, Example of a Cooperative e-maintenance System Distributed Frameworks for Multimedia Applications*", The 2nd International Conference, Pages:1 – 8, 2006.
- [SAH-01] A.E.K. Sahraoui; "*Experience in requirements elicitation with formal and semi-formal methods*", 2001.
- [SAH-02a] A.E.K. Sahraoui; "*Requirement elicitation and specification of temporal properties: text, logics, automata and Java assertions*", 13p, 2002.
- [SAH-02b] A.E.K. Sahraoui; "*Requirements engineering: the automata based elicitation and related issues*", International Conference on Software Engineering Research and Practice (SERP'02), Las Vegas (USA), 2002.

- [SAH-04] A.E.K. Sahraoui, D.M. Buede, A.P. Sage; *"Issues for systems engineering research"*, 14th Annual International Symposium INCOSE 2004, Toulouse (France), 2004.
- [SAH-05] A.E.K. Sahraoui; *"Requirements traceability issues methodology and formal basis"*, International Journal of Information Technology & Decision Making (ITDM), Vol.4, N°1, 2005.
- [SOW-98] J.F. Sowa; *"Knowledge representation, Logical, Philosophical, and Computational Foundations"*, Brooks/Cole, 1998.
- [SOG-99] S. Soga, Y. Hiroshigo, A. Dobashi, M. Okumura, T. Kusuzaki; *"PLM using radio frequency identification technology"*, Proceedings 7th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, ETFA, 1999.
- [SRI-05] V. Srinivasan, *"Open Standards for Product Lifecycle Management"*. International Conference on Product Lifecycle Management (PLM'05), pp.282-291, Lyon, France, 2005.
- [SUB-05] E. Subrahmanian, S. Rachuri, S.J. Fenves, S. Fofou, R.D. Sriram; *"Product Lifecycle Management Support: A Challenge in Supporting Product Design and Manufacturing in a Networked Economy"*, Manufacturing Systems Integration Division, National Institute of Standards and Technology Gaithersburg, MD 20899-8263, 2005.
- [SUD-05] R. Sudarsan, S.J. Fenves, R.D. Sriram, et al; *"A product information Modeling framework for product lifecycle management"*, Computer Aided Design, vol. 37, no. 13, 2005.
- [SUD-06] R. Sudarsan, S. Fofou, S. Kemmerer; *"Analysis of Standards for Lifecycle Management of Systems for US Army --- a preliminary investigation"*, National Institute of standards and technology, 2006.
- [SVO-95] S. Svoboda; *"Note on Life Cycle Analysis"*, University of Michigan Corporate Environmental Management Program (CEMP), LCA Note (9), 1995.
- [TER-05a] S. Terzi, J. Cassina, H. Panutto; *"Development of a metamodel to foster interoperability along the product lifecycle traceability, Proceedings at International conference on Interoperability of Enterprise Software and Applications"*. IFIP-ACM/SIGAPP Interopesa, Geneva, Switzerland, 2005.

- [TER-05b] S. Terzi; *"Elements of Product Lifecycle Management: Definitions, Open Issues and Reference Models"*. Doctoral dissertation, 2005.
- [TIC-00] S. Tichkiewitch, D. Brissaud; *"Co-Ordination Between Product and Process Definitions in a Concurrent Engineering Environment"*, The 50th General Assembly of CIRP, Sydney, Australia, 2000.
- [TOP-06] TOPCASED WP1, SP1.4 Process Modeling; *"EIA-632 Modeling"*, Version 1.0 Draft1 20 October 2006.
- [TRA-04] I. Traoré, D.B. Aredo; *"Enhancing structured review with model-based verification"*, IEEE Transactions on Software Engineering, Vol. 30, No. 11, pp. 736-753, 2004.
- [TRA-98] I. Traoré, A.E.K. Sahraoui; *"Integrating formal methods in the development process of distributed systems"*, 15th IFAC Workshop on Distributed Computer Control Systems (DCCS'98), Como (Italie), 1998.
- [VER-92] F. Vernadat, *"CIMOSA: Enterprise Modeling and Enterprise Integration Using a Process-based Approach"*. Information Infrastructure Systems for Manufacturing, Proceedings of the JSPE/IFIP TC5/WG5.3 Workshop on the Design of Information Infrastructure Systems for Manufacturing, DIISM '93, Tokyo, Japan, 1993.
- [VAC-04] F. Vacherand ; *"GT Traçabilité, Mobilité et Confiance"*, 2004.
- [VAN-02] J.H. Van Moll; *"The importance of Life Cycle Modelling to the development and testing of complex products"*, Philips semiconductors, Presentation at TestNet Najaarsevenement 2002.
- [VCO-04] VCOR Group; *"Value Chain Operation Reference Model Overview"*, [www.value-chain.org](http://www.value-chain.org).
- [VER-96] F. Vernadat; *"Enterprise Modelling and integration: Principles and Applications"*, springer, 1996.
- [VER-98] F.B. Vernadat; *"The CIMOSA Languages"*, Handbook on Architectures of Information Systems, Springer-Verlag, pp243-264, 1998.
- [WIL-94] T.J. Williams; *"Development of GERAM, a generic enterprise reference architecture and enterprise integration methodology "*, a project of the IFAC/IFIP task force on Architectures for enterprise integration, 1994.

- [ZOW-02] D. Zowghi, N. Nurmuliani; "A Study of the Impact of Requirements Volatility on Software Project Performance". 9th Asia-Pacific Software Engineering Conference, Gold Coast, Australia, 2002.
- [XIA-02] Q. Xiao-li, Y. Hong, W. Xi-ying, C. Ming-yuan; "Information shares of network manufacturing system based on STEP and XML", Journal of computer integrated Manufacturing system (Chinese), vol. 8, no. 7, 2002.
- [ZER-90] N. Zerhouni, H. Alla, "Dynamic analysis of manufacturing systems using continuous Petri nets", Robotics and Automation, IEEE International Conference on Page(s):1070 - 1075 vol.2 Digital Object Identifier, May 1990.

### Sites Internet:

- [GRO-Foc] <http://www.npd-solutions.com/focusgroups.html>
- [SIT-1] [www.lemondeinformatique.fr](http://www.lemondeinformatique.fr)
- [SIT-2] <http://www.mel.nist.gov/msidlibrary/publications.html>
- [SIT-3] <http://www.lr.tudelft.nl>
- [SIT-4] <http://www.cf.ecp.fr/>
- [SIT-5] <http://www.plmdecision.com/>
- [SIT-6] <http://www.cplmcommunity.com>
- [SIT-7] [http://actualite.aol.fr/economie/toyota-maintient-ses-objectifs-pour-2007/539039/p-article\\_cat/article\\_titre/article\\_id/article.html](http://actualite.aol.fr/economie/toyota-maintient-ses-objectifs-pour-2007/539039/p-article_cat/article_titre/article_id/article.html)
- [SIT-8] <http://www.inpactvirtuel.com/news/13385-PS3-Mars-2007.htm>
- [SIT-9] <http://www.iso.ch/iso/fr/>
- [SIT-10] <http://www.cimdata.com/>
- [SIT-11] <http://www.afis.fr/prayout/accueil/accueil.html> (Chap IV)
- [SIT-12] <http://www.incose.org/practice/fellowsconsensus.aspx> (Chap IV)
- [SIT-13] <http://www.afis.fr/prayout/accueil/accueil.html> (Chap III)
- [SIT-14] <http://www.incose.org/practice/fellowsconsensus.aspx> (Chap III)
- [SIT-15] <http://www.cimosa.de/Modelling/Modelling1.html>
- [STA-IEEE] <http://www.afis.fr/doc/normes/normes2.htm> (Chap III)

### Normes:

- [ISO 10303-1:1994] ISO 10303-1, "*Industrial automation systems -- Product data representation and exchange -- Part 1: Overview and Fundamental Principles*", ISO/IEC, Geneva, Switzerland, 1994.
- [ISO-10303-203:1994] ISO 10303-203, "*Industrial automation systems - Product data representation and exchange -- Part 203: Application protocol: Configuration Controlled Design*", ISO/IEC, Geneva, Switzerland, 1994.
- [ISO-10303-224:2001] ISO 10303-224, "*Industrial automation systems and integration -- Product data representation and exchange -- Part 224: Application protocol: Mechanical product definition for process planning using machining features*", ISO/IEC, Geneva, Switzerland, 2001.
- [ISO-10303-232:2001] ISO 10303-232, "*Industrial automation systems and integration -- Product data representation and exchange -- Part 232: Application protocol: Technical data packaging core information and exchange*", ISO/IEC, Geneva, Switzerland, 2001.
- [STA-EIA] ANSI/EIA-632-1998, Processes for engineering a system, Approved 7 January 1999, Reaffirmed 2003
- [STA-IEEE] IEEE 1220-05. IEEE Standard for Application and Management of the Systems Engineering Process , Approved 8 December 1998 révisé en 2005.
- [STA-IEEE] IEEE 1220-05. IEEE Standard for Application and Management of the Systems Engineering Process , Approved 8 December 1998 révisé en 2005.
- [STA-ISOa] ISO 15288 02. ISO/IEC 15288-2002, Life-Cycle Management—System Life Cycle Processes, Octobre 2002
- [STA-ISOb] ISO 19760 03. ISO/IEC TR 19760-2003, Systems engineering — A guide for the application of ISO/IEC 15288 (System life cycle processes), 15 November 2000.



# Annexes

---



## ANNEXES

---

### 1. OUTILS PLM

Le « marché du PLM (PLM Market) » devient une expérience mondiale et un des Marché d'IT (Information Technology) en croissance, alors que beaucoup de fournisseurs du marché d'ICT (Technologie de l'Information et de la Communication) pénètrent ce monde en proposant leurs suites de PLM (par exemple UGS, IBM-Dassault, Tecnomatix, SAP, Baan...). A travers un tour d'horizon fait dans le marché, une classification des outils apparait:

- Les Fournisseurs venant du monde de l'ingénierie numérique (UGS, Tecnomatix, IBM-Dassault), qui commencent à partir des processus de NPD (développement de produits nouveaux) et de MES (Système d'exécution Manufacturière) et essayent de relier les processus de technologie et de gestion d'entreprise.
- Les Fournisseurs venant du monde d'ERP (SAP, PTC), qui, au contraire, débutent par les processus de gestion d'entreprise pour aller vers la connexion des outils et des plateformes de NPD/MES.

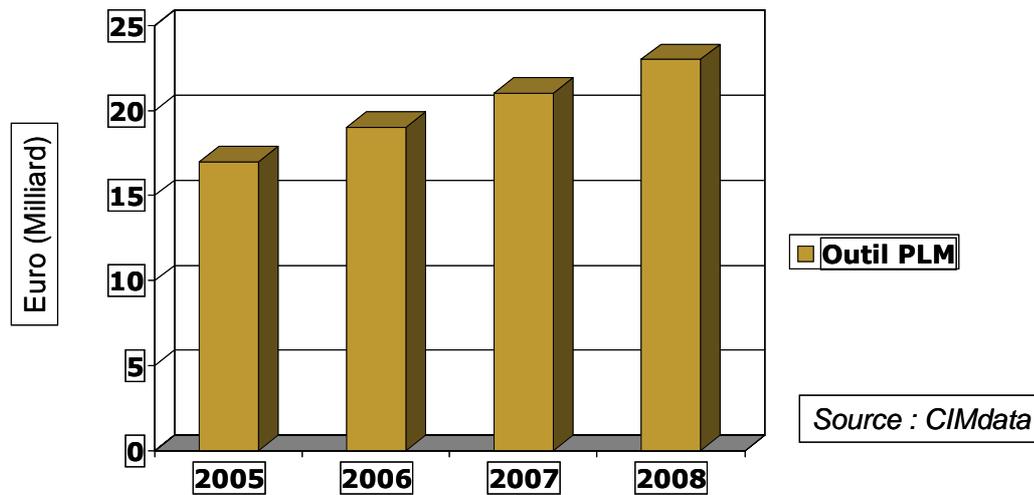


Figure A.1. Le marché du PLM selon la source CIMData

Les Fournisseurs venant du monde d'ICT: (Information and Communication Technology), visent à établir de tels environnements de collaboration pour l'intégration du PLM (Microsoft, MatrixOne, Agiles), employant des technologies de Web.

Selon l'étude publiée par CIMdata, le marché du PLM a progressé de 8,7% en 2005, avec une croissance de 14,7% sur le segment de marché du cPDM.

La figure A.2. présente les outils et leur utilisation dans le cycle de vie. Dans un tel contexte, le PLM est extrinsèquement un ICT, même si dans une perspective plus large il traite un ensemble d'éléments divers plus complet.

Phases du Produit	Outils ICT
Développement du produit	CAD
	CAPP
	CAM
	CAE
	DMU
	EDM
	PDM
Production et distribution du produit	WFM
	ERP
	MRP
Utilisation du produit	SCM
	CRM

Figure A.2. Les ICT dans le cycle de vie du produit

Grâce aux solutions PLM, plusieurs intervenants participent au développement d'un produit, en s'appuyant sur un référentiel de données commun et des outils de partage d'informations.

Ce travail est consacré uniquement à la comparaison entre les plus importants outils offrant des solutions PLM. Sachant que y'a d'autres acteurs qui offrent des solutions partielles ne couvrant pas la totalité du cycle de vie du produit. Parmi elles : CAO-IAO-FAO, le travail collaboratif, la modélisation, SGDT..., et qui font aussi un objet de travail.

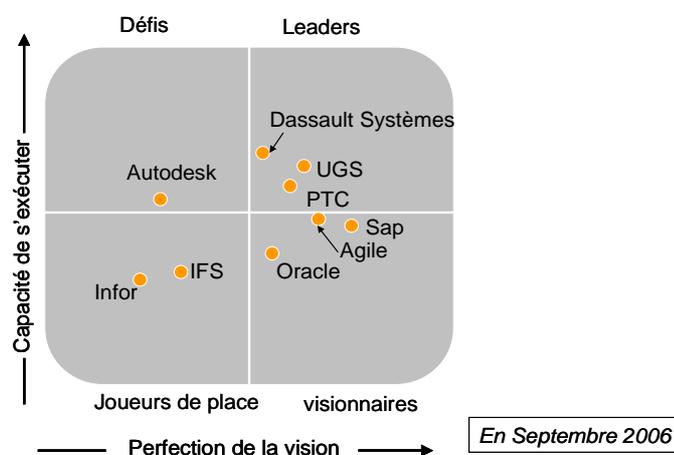


Figure A.3. Comparaison de fournisseurs d'outils PLM

## 2. TRACABILITE LE LONG DU CYCLE DE VIE DU PRODUIT

### 2.1. La traçabilité : définition

Selon la version 2000 de la norme NF EN ISO 9000, la traçabilité est « l'aptitude à retrouver l'historique, la mise en œuvre ou l'emplacement de ce qui est examiné ». En termes de produits, elle est liée à l'origine des matériaux et des pièces, afin de garder un souvenir tangible de l'histoire et de la distribution après la livraison. Elle trace et suit le produit dans toutes les étapes de sa production ainsi que dans sa distribution.

La traçabilité technologique consiste à suivre les évolutions des données ou les informations technologiques tout au long du cycle de vie du produit. Cette démarche permet de pouvoir, ensuite, analyser la pertinence des informations et des méthodes utilisées par les différentes activités du cycle. Cela impose la mise en place d'une formalisation des méthodes de travail au niveau de chaque activité. C'est à dire, qu'il faut définir les données et les informations utilisées, la manière dont elles sont traitées et les résultats (informations et données) transmis aux autres activités [BER-03].

## **2.2. Le code à barres**

C'est en 1948 que le président d'une chaîne de magasin alimentaire émit le besoin d'une solution de saisie automatique des données relatives aux produits passant aux caisses de ses magasins.

L'avènement de l'outil informatique permettant de stocker, traduire et manipuler cette codification permet aux fournisseurs des différents secteurs de la distribution de rentabiliser rapidement les investissements réalisés dans l'identification de leurs produits. De 1970 à 1980 de multiples normes de codification sont développées pour répondre aux exigences des différents secteurs d'activités. De 1988 à 1995 les codes dit « empilés » et « matriciels » voient le jour pour répondre à un volume d'information à encoder toujours plus important. Les uns reprenent la même technologie de lecture, les autres nécessitent une caméra.

En même temps, les normes Européennes et mondiales sont arrêtées en 1993, se limitant au premier type de code : le code à barres linéaire.

## **2.3. RFID**

Dans le domaine de la distribution, qu'elle soit grande ou petite, le code barre est largement utilisé à l'heure actuelle. On connaît ses avantages : faible coût, robustesse, normes bien établies... On connaît aussi ses limites. Parmi ses inconvénients, il faut citer principalement le nombre restreint d'informations qu'il contient et surtout la parfaite visibilité optique directe qui est nécessaire pour le lire. Remplacer des codes lisibles optiquement par les mêmes codes portés par des ondes électromagnétiques supprimera ces deux inconvénients. C'est pourquoi la RFID (Radio Frequency Identification) représente une alternative malgré les

difficultés qu'elle engendre. Une étiquette électronique constituée d'une puce entourée de son bobinage coûtera certes toujours plus cher qu'un code barre imprimé sur un simple bout de papier, mais elle offre un tel progrès dans toute la chaîne de distribution qu'à l'heure actuelle la rentabilité est déjà envisageable. On prévoit que son coût de fabrication va considérablement baisser dans les années à venir. Un substantiel retour sur investissement deviendra alors possible. Il est vraisemblable que les solutions techniques seront dépendantes des applications. Les fréquences retenues par exemple seront plus ou moins bien adaptées à telle ou telle application. [PAR-05]

### 3. MODELISATION EIA 632

Ce travail a été fait dans le cadre du projet TOPCASED, où le travail reposait sur la modélisation des processus de la norme EIA 632.

#### 3.1. LA CONCEPTION DU SYSTEME

La figure A.4 présente la modelisation des processus du "System design".

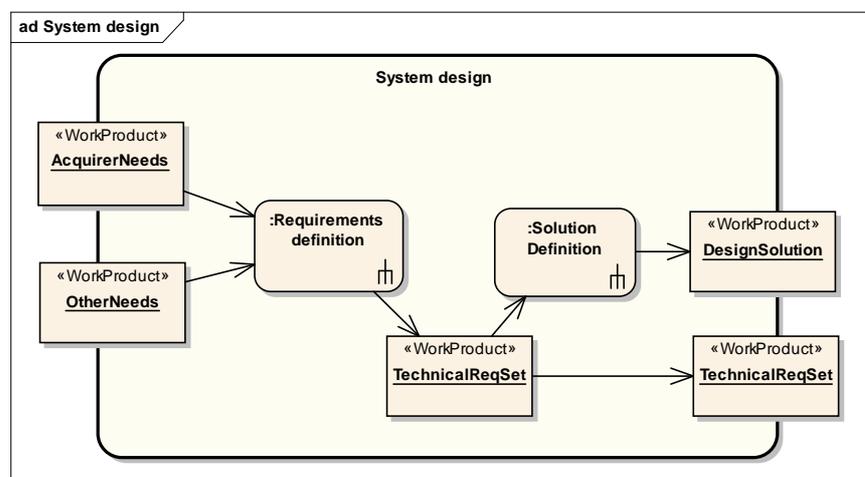


Figure A.4. Conception du système (TOPCASED. WP1)

### 3.2. DEFINITION DE LA SOLUTION

La figure A.5 présente la modelisation des processus du “definition de la solution”.

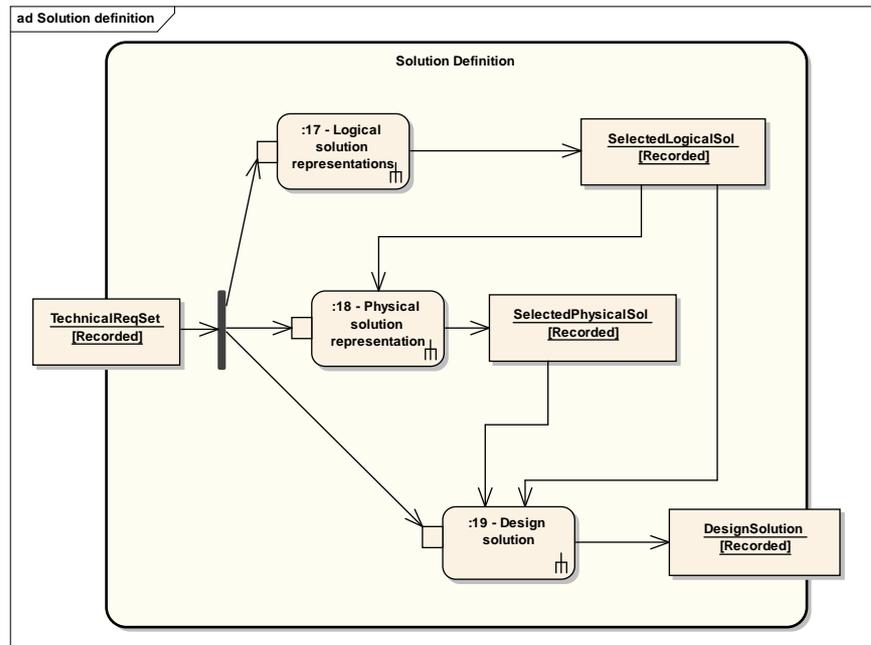


Figure A.5. Définition de la solution (TOPCASED. WP1)

### 3.3. REPRESENTATION DE LA SOLUTION LOGIQUE

La figure A.6 présente la modelisation des processus de “Représentation de la solution logique”.

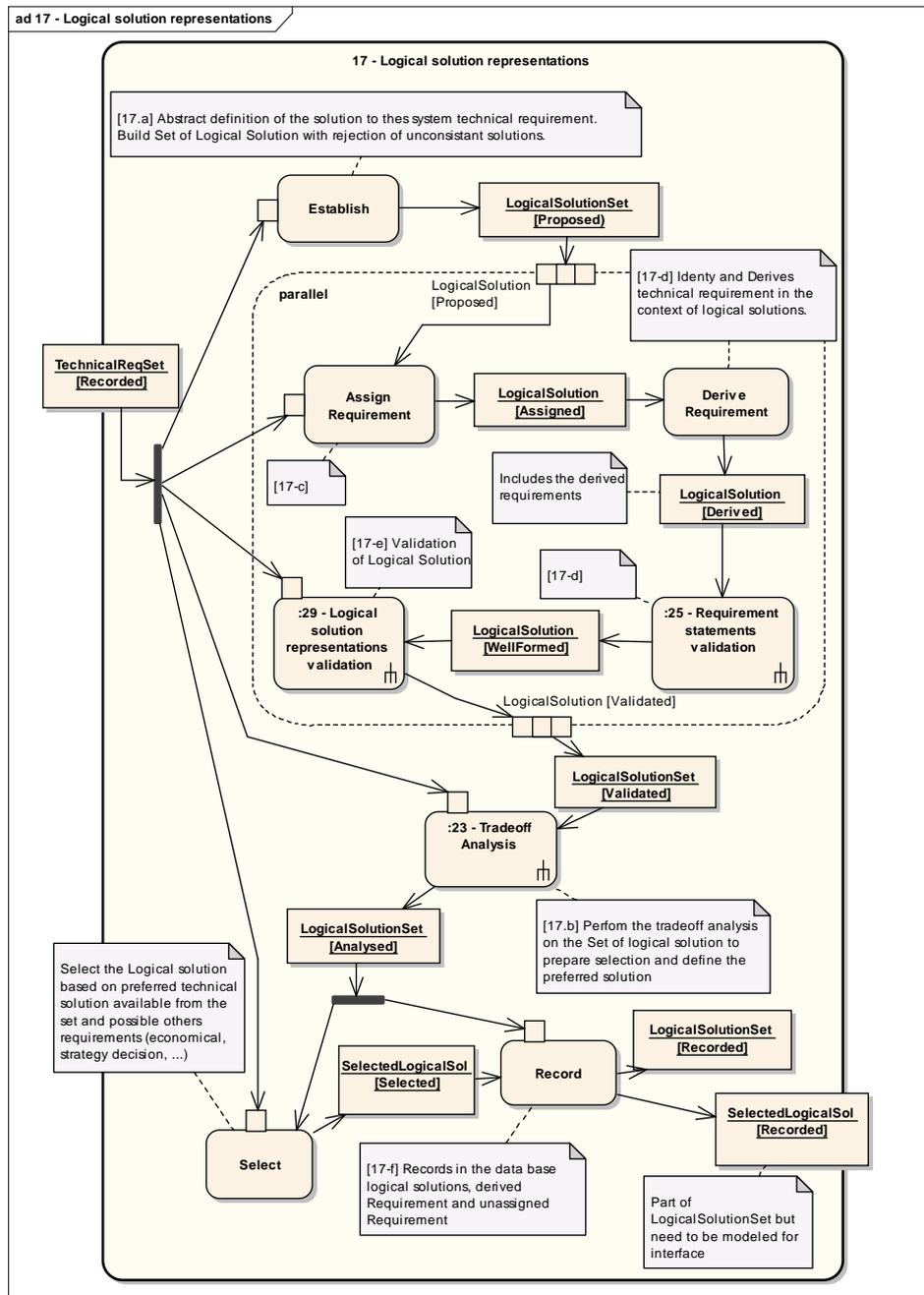


Figure A.6. Représentation de la solution logique (TOPCASED. WP1)

### 3.4. REPRESENTATION DE LA SOLUTION PHYSIQUE

La figure A.7 présente la modelisation des processus de “Représentation de la solution physique”.

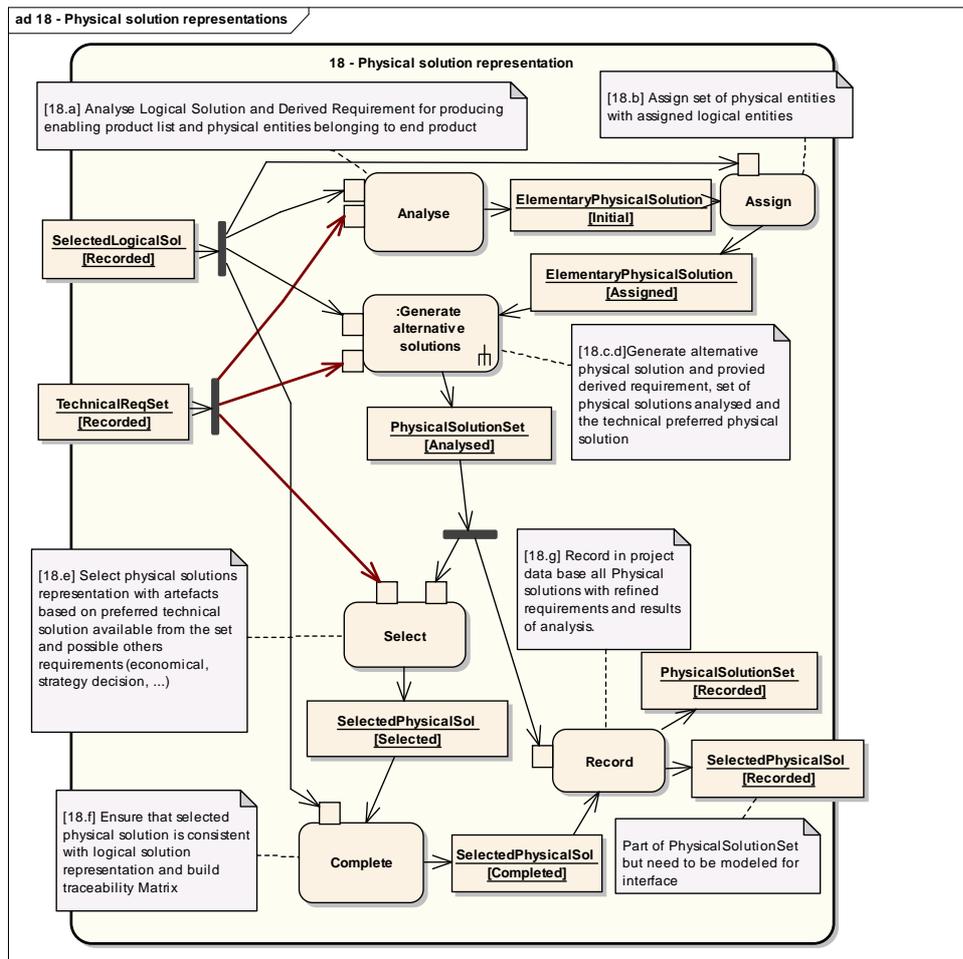


Figure A.7. Représentation de la solution physique (TOPCASED. WP1)

## 4. MODELE DE DONNEES AFIS, VERSION 2.0

Données de la vue concepts du diagramme de classes (cf V. Figure 5.15)

Tableau. A.1. Définition des classes

Nom	Description
<b>Compromis</b>	<u>Définition AFIS qtMO</u> Décisions portant sur des éléments en conflit et résultant d'un processus d'analyse au sens de l'EIA 632.
<b>Conflit</b>	<u>Définition AFIS qtMO</u> Incohérence entraînant un risque d'échec par rapport à un but défini dans un contexte donné.
<b>Document</b>	<u>Définition AFIS qtMO</u> Support physique d'information.  <u>Commentaire</u> Une donnée d'ingénierie, à un niveau d'évolution donné, est formalisée par un ou un ensemble de supports physiques d'information (papier, fichier informatique, modèle, ...)
<b>Donnée d'ingénierie</b>	<u>Définition qtMO</u> Toute information, ou ensemble d'informations, manipulés dans un processus d'ingénierie système.  <u>Commentaires</u> - Toute création ou modification de donnée d'ingénierie ou de lien de traçabilité entre données d'ingénierie dans un référentiel donne lieu à une justification. - Toutes données et tous liens entre données d'ingénierie possèdent un cycle de vie et ont différents états d'évolution. - Les données d'ingénierie sont susceptibles de générer des conflits entre elles. Dans ce cas, un compromis est établi et les modifications des données qui en résultent sont justifiées.
<b>Justification</b>	<u>Définition qtMO</u> Explication d'un choix ayant un impact sur le cycle de vie d'une donnée IS ou d'un lien entre données IS.  <u>Commentaires</u> Une justification peut se rapporter à un résultat d'analyse ou d'optimisation, à un résultat de recherche de compromis, à un choix de conception, à un résultat, de vérification ou de validation, ....
<b>Système final</b>	<u>Définition AFIS qtMO après les définitions JPM(1) et ISO 15288.</u> Ensemble composite d'éléments (personnels, matériels, logiciels) en interaction et organisés pour atteindre un ou plusieurs résultats définis dans un environnement donné.  <u>Commentaires</u> Le système tel que nous le définissons ici correspond au système "final" de l'EIA 632. Il rend les services finals définis pour satisfaire les besoins d'acteurs externes au système.  (1) Ingénierie et intégration des systèmes, JP Meinadier, ed. Hermes, 1998.

Nom	Description
<b>Affaire</b>	<u>Définition AFIS, modèle qtMO 2002</u> Entité de regroupement permettant de capitaliser les données par niveau, depuis les exigences d'entrée jusqu'aux exigences de niveau N+1. <u>Commentaires</u> Une affaire met en relation un besoin client et une solution fournisseur.
<b>Besoin</b>	<u>Définition AFIS, modèle qtMO 2002</u> Un besoin correspond à une attente et/ou une nécessité d'une partie prenante. <u>Commentaires</u> - Un besoin peut se rapporter à des contraintes, par exemple, des contraintes d'environnement, de production, ..... - Un besoin peut porter sur une ou plusieurs phases du cycle de vie du système.
<b>Énoncé de travaux</b>	<u>Définition AFIS, modèle qtMO 2002</u> Regroupe l'ensemble des activités, fournitures, ressources et moyens attendus par le client, ou délivrés par le fournisseur.
<b>Partie Prenante</b>	<u>Définition AFIS, modèle qtMO 2002</u> Entreprise, organisation ou individu ayant un intérêt ou un enjeu dans les résultats de l'ingénierie d'un système.
<b>Solution IS</b>	<u>Définition AFIS, modèle qtMO 2002</u> Ensemble cohérent d'éléments de solution technique et d'énoncés de travaux, en réponse aux besoins et exigences du client. <u>Commentaires</u> Une solution a un statut de solution candidate lors des premières études, elle prend le statut de solution effective lorsqu'elle est retenue parmi plusieurs solutions candidate.

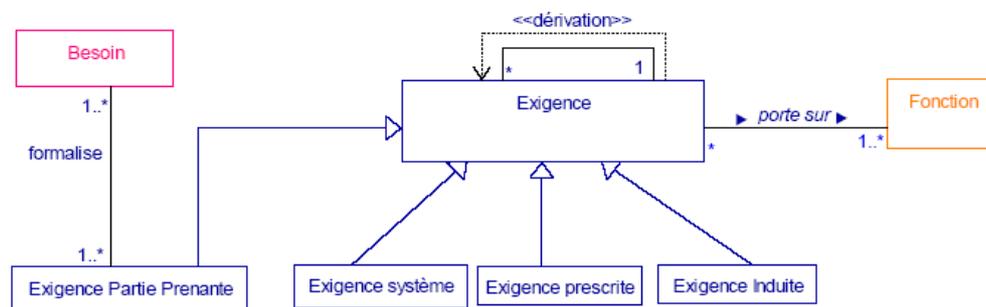


Figure A.8. *Diagramme de classes : Vue Exigences modèle de conceptuel de données IS, AFIS mars 2005*

Tableau. A.2. *Définition des classes*

Nom	Description
<b>Exigence</b>	<u>Définition AFIS d'après les commentaires du glossaire qtIS extraits de l'EIA 632</u> Énoncé qui prescrit une fonction, une aptitude, une caractéristique ou une limitation à laquelle doit satisfaire un produit, un constituant du produit ou un processus, dans des conditions et/ou un environnement donnés. <u>Commentaires</u> - Une exigence dérive toujours d'une source : besoin ou autre exigence de plus haut niveau. - Elle s'applique à un système ou aux éléments de son architecture. - Elle est vérifiée et/ou validée par une procédure IVV. - Elle possède des attributs qui permettent de la caractériser.

	- Les exigences systèmes, les exigences prescrites et les exigences induites répondent à la définition générales des exigences mais possèdent en outre des caractéristiques propres.
<b>Exigence Induite</b>	<u>Définition AFIS qtMO</u> Exigence générée par un choix d'architecture ou une contrainte de réalisation. <u>Commentaires</u> Les exigences induites peuvent se révéler en conflit avec d'autres exigences (du même niveau ou exigences d'un niveau amont). Dans ce cas, un compromis doit être établi.
<b>Exigence Partie Prenante</b>	<u>Définition AFIS qtMO</u> Formalisation de besoins (incluant des contraintes) par toute partie intéressée, de quelque façon que ce soit, au projet de réalisation du système.
<b>Exigence prescrite</b>	<u>Définition AFIS qtMO</u> Exigence technique dérivée, directement ou non, d'une ou plusieurs exigences système, allouée à un composant physique et ayant valeur contractuelle. (assigned specified requirement de l'EIA 632).
<b>Exigence système</b>	<u>Définition AFIS qtMO d'après le standard EIA 632</u> Exigence technique allouée aux bornes d'un système. <u>Commentaires</u> Propriétés attendues d'une exigence technique : vérifiable, faisable et n'entraînant pas d'incohérence au sein du jeu d'exigences techniques.

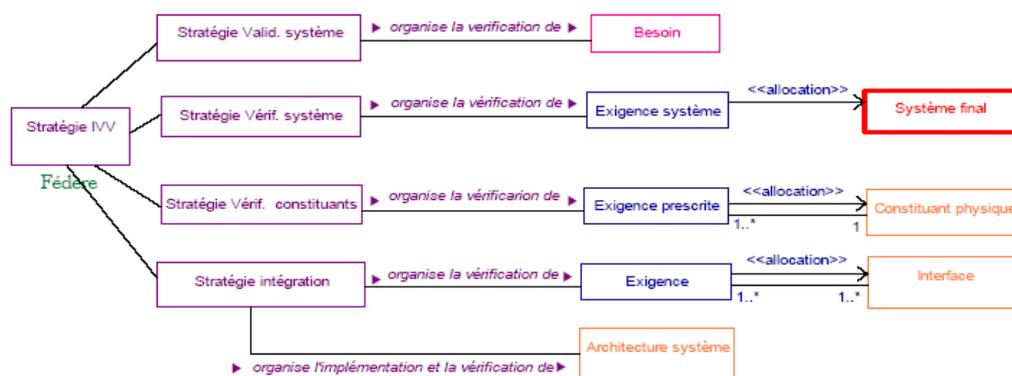


Figure A.9. Diagramme de classes : Vue IVV, Modèle de conceptuel de données IS, AFIS mars 2005

*Tableau. A.3. Définition des classes*

<b>Stratégie IVV</b>	<p><u>Définition AFIS gt\VVQ</u></p> <p>Elaboration d'une approche globale des processus visant à :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- garantir le respect de la réponse au besoin;</li> <li>- gagner et conforter la confiance de l'acquéreur;</li> <li>- répartir les risques sur l'ensemble des processus IVV;</li> <li>- optimiser les ressources et diminuer les délais.</li> </ul> <p><u>Commentaires</u></p> <p>Une stratégie IVVQ organise les activités</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- d'intégration : implémentation et vérification de l'architecture système;</li> <li>- de vérification : vérification de la satisfaction d'exigences prescrites par le système, ou le composant physique, auxquelles elles sont allouées;</li> <li>- de validation : vérification de la satisfaction d'un besoin.</li> </ul>
<b>Stratégie Valid. système</b>	<p><u>Définition AFIS gt\VVQ + gtMO</u></p> <p>Entité de regroupement des données relatives à la validation d'un système.</p>
<b>Stratégie Vérif. constituants</b>	<p><u>Définition AFIS gt\VVQ + gtMO</u></p> <p>Entité de regroupement des données relatives à la validation d'un constituant.</p>
<b>Stratégie Vérif. système</b>	<p><u>Définition AFIS gt\VVQ + gtMO</u></p> <p>Entité de regroupement des données relatives à la vérification d'un système.</p>
<b>Stratégie</b>	<p><u>Définition AFIS gt\VVQ + gtMO</u></p>





**INGENIERIE SYSTEME ET SYSTEME DE PRODUCTION MANUFACTURIERE:  
INTEGRATION DE L'EVOLUTION DES EXIGENCES DANS LE PLM**

**RESUME**

---

La concurrence impose aux entreprises des contraintes de plus en plus élevées en termes de qualité des produits. Elles sont soumises à des exigences de plus en plus contraignantes. Ainsi, pour ces entreprises modernes, le succès implique de produire le meilleur produit, au plus bas prix, juste à temps. L'INCOSE (Association Internationale de l'Ingénierie Système) a émit le slogan « faster, Better, and Cheaper ».

Dans ce contexte, la gestion conjointe des produits et des processus de production est devenue une nécessité. Le développement de produits doit impérativement tenir compte des souhaits et des demandes des clients, cela dans un temps très court dépendant du marché. Ainsi notre travail rentre dans le contexte d'intégration des processus d'ingénierie système dans le cadre de l'industrie manufacturière et plus principalement la gestion du cycle de vie du produit connu sous l'appellation PLM (product Lifecycle management).

Le travail a été orienté selon trois axes. Le premier a porté sur l'application de concepts et de normes d'ingénierie système à la production manufacturière et plus précisément sur les processus recommandés par la norme EIA 632 largement utilisée, notamment dans l'aéronautique et le spatial. Le deuxième axe a porté sur la possibilité de lier les processus concernant le produit final et les produits capacitants ou contributeurs (Enabling Products). Les travaux sont orientés sur l'adoption du concept PLM comme une technique pour assurer ce besoin de lien. Le troisième axe, qui est un prolongement des deux précédents, a pour objectif de développer le processus de gestion des évolutions des exigences et leurs impacts sur le système de production et autres produits capacitants (maintenance, retrait, etc.). L'approche qui considère ces trois axes est illustrée sur une étude de cas. Ce travail a permis l'applicabilité des concepts et des normes ingénierie systèmes à l'industrie manufacturière et offre un cadre générique pour des extensions éventuelles. Une partie de ces extensions a été traitée au niveau de l'intégration du changement d'exigences dans le PLM.

**MOTS-CLES :** Evolution des exigences, Ingénierie système, PLM, Production manufacturière

**SYSTEM ENGINEERING AND MANUFACTURING SYSTEM: REQUIREMENTS  
EVOLUTION INTEGRATION IN THE PLM**

**ABSTRACT**

---

Competition requires companies' constraints in product quality terms. They are subject to more stringent requirements. Thus, for these modern companies, success means producing the best product at the lowest price, just in time. The INCOSE (International Consortium of System Engineering) has issued the slogan "faster, Better, and Cheaper."

In this context, the joint management of products and production processes has become a necessity. The product development must take into account the customers need in a very short time depending on the market. Thus our work falls within the engineering system process integration context within the manufacturing industry and mainly the product life cycle management, known as the PLM.

The work was focused on three axes. The first axis focused on concepts application and system engineering standards for manufacturing and especially on the EIA 632 process widely used in the aeronautics and space. The second axis focused on the possibility of linking the end product and enabling products process. The work is focused on the PLM concept as a technique to ensure that appropriate link. The third axis, which is an extension of the previous two, aims to develop the management process of changing requirements and their impacts on the production system and other enabling products (maintenance, disposal, etc.). The approach that considers all three axes is illustrated with case study. This work has enabled the concepts applicability and systems engineering standards to manufacturing and offers a generic framework for extensions. Some of these extensions were treated at the level of requirements change integration in the PLM.

**KEYWORDS:** Requirements evolution, System engineering, PLM, Manufacturing