



AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>

FACULTE DES SCIENCES & TECHNIQUES

U.F.R. Sciences et Techniques Mathématiques, Informatique et Automatique
Ecole Doctorale IAEM Lorraine
Département de Formation Doctorale Automatique

Thèse

Présentée pour l'obtention du titre de

Docteur de l'Université Henri Poincaré, Nancy I

Automatique, Traitement du Signal et Génie informatique

Par **Salah DEEB**

Contribution méthodologique à la maîtrise conjointe de la qualité d'un produit et de ses processus de production par une modélisation des concepts qualité

Soutenance publique le 06/03/2008 devant le jury composé de :

Président :	Thierry DIVOUX	Professeur, UHP Nancy I
Rapporteurs :	Maurice PILLET	Professeur, Université de Savoie
	Abdessamad KOBİ	Professeur, Université d'Angers
Examineurs :	Olivier SÉNÉCHAL	Professeur, Université de Valenciennes
	Hervé PANETTO	Maître de conférence, HDR, UHP Nancy I
	Benoît IUNG	Professeur, UHP Nancy I (Directeur de thèse)

FACULTE DES SCIENCES & TECHNIQUES

U.F.R. Sciences et Techniques Mathématiques, Informatique et Automatique
Ecole Doctorale IAEM Lorraine
Département de Formation Doctorale Automatique

Thèse

Présentée pour l'obtention du titre de

Docteur de l'Université Henri Poincaré, Nancy I

Automatique, Traitement du Signal et Génie informatique

Par **Salah DEEB**

Contribution méthodologique à la maîtrise conjointe de la qualité d'un produit et de ses processus de production par une modélisation des concepts qualité

Soutenance publique le 06/03/2008 devant le jury composé de :

Président :	Thierry DIVOUX	Professeur, UHP Nancy I
Rapporteurs :	Maurice PILLET	Professeur, Université de Savoie
	Abdessamad KOBİ	Professeur, Université d'Angers
Examineurs :	Olivier SÉNÉCHAL	Professeur, Université de Valenciennes
	Hervé PANETTO	Maître de conférence, HDR, UHP Nancy I
	Benoît IUNG	Professeur, UHP Nancy I (Directeur de thèse)

Remerciements

Les travaux de recherche présentés dans ce mémoire ont été réalisés au Centre de Recherche en Automatique de Nancy (CRAN, UMR 7039 du CNRS) dont je remercie les membres pour leur accueil au sein du laboratoire.

J'adresse mes remerciements les plus sincères à mon directeur de thèse, le Professeur Benoît IUNG qui m'a suivi et guidé tout au long de ce travail et m'a ouvert la voie vers la recherche scientifique. Ses remarques et ses conseils ont permis l'accomplissement de ce travail.

Je souhaite exprimer toute ma reconnaissance à Monsieur Thierry Divoux (Professeur, UHP Nancy I), pour m'avoir fait l'honneur de présider mon jury de thèse.

Je tiens à exprimer toute ma gratitude à Monsieur Maurice Pillet (Professeur, Université de Savoie) et Monsieur Abdessamad Kobi (Professeur, Université d'Angers), pour avoir accepté d'être rapporteur de mes travaux de thèse, pour l'intérêt et le temps qu'ils ont portés à mon travail.

Je remercie Monsieur Olivier Sénéchal (Professeur, Université de Valenciennes), et Monsieur Hervé Panetto (Maître de conférence, HDR, UHP Nancy I) d'avoir bien voulu examiner ce travail et pour l'honneur qu'ils m'ont fait de participer à ce jury.

Merci à l'ensemble des membres des groupes PRODEMAS et SYMPA pour avoir constitué l'environnement humain nécessaire à la concrétisation de ces travaux.

N'arrivant pas à finir mes remerciements et face à la difficulté de la tâche (tant le nombre des gens qui me viennent à l'esprit en cet instant est important), j'espère que tous ceux (toutes celles) qui par leur présence, leur générosité, leur patience, leur soutien, leur accueil, ont cheminé avec moi, trouveront dans ces quelques lignes toute ma gratitude et mon amitié sans que je n'ai besoin de les citer un(e) à un(e).

Enfin, j'adresse mes vifs remerciements :

- à ma soeur et mes frères pour leur amour, leur confiance et leur souci permanent de me fournir le meilleur d'eux même. N'oubliez pas que je serai moi aussi toujours là pour vous ...
- à l'ensemble de mes amis doctorants du CRAN ou d'ailleurs et je leur souhaite bonne chance pour la suite de leurs travaux
- à l'ensemble de mes amis syriens de Nancy

Dédicace

Jamais cette thèse n'aurait vu le jour, si dès ma plus tendre enfance mes parents ne m'avaient inculqué l'envie de savoir. Aussi, je ne cesserai jamais de rappeler toute la gratitude que je leur dois et tout l'amour et l'admiration que je leur porte.

Je tiens aussi à exprimer mon affection à ma femme pour m'avoir accompagné et encouragé pendant cette période. Elle a su me rendre l'envie de sourire pendant les moments difficiles.

Table des matières

Liste des figures	13
Abréviation et sigles	18
Introduction générale.....	21
Chapitre 1 : La qualité ... comme un processus d'entreprise.....	28
I. Introduction.....	30
II. Définitions de la qualité.....	31
III. Différentes notions de la qualité au sein d'un système de management de la qualité ...	35
IV. Problématique industrielle à l'origine de ces travaux de thèse	40
V. La qualité comme un processus en entreprise	45
V.1. Le processus qualité dans les différents niveaux structurels de l'entreprise	46
V.2. Développement du processus qualité	48
V.3. Synthèse.....	51
VI. Cadres de modélisation en entreprise et processus qualité	52
VII. Conclusion	55
Chapitre 2 : Modèles, méthodes et méthodologies ... pour la formalisation et l'intégration du processus qualité	57
I. Introduction.....	59
II. Modèles pour le processus qualité et son intégration... ..	60
II.1. Modèles généraux des activités et des objets d'un processus qualité.....	60
II.2. Modèles pour l'intégration du processus qualité	62
II.2.1. Modèles généraux pour une intégration verticale et horizontale du processus qualité.....	63
II.2.2. Modèles particuliers pour une intégration horizontale du processus qualité: application à l'intégration qualité-maintenance	66
II.2.3. Modèles particuliers pour une intégration horizontale et verticale du processus de qualité : l'approche ERP.....	68
II.3. Modélisation du processus qualité au sein de cadres de modélisation	72
II.4. Synthèse.....	74
III. Méthodes et Méthodologies pour le développement et l'intégration du processus qualité	76
IV. Conclusion	85
Chapitre 3 : Vers une approche générique de formalisation du processus qualité de niveau produit et processus de production	87

I. Introduction.....	89
II. Principes de l'approche générique de modélisation	90
II.1. Formalisation des concepts qualité au niveau tactique en lien avec le niveau stratégique	97
II.2. Modélisation de l'extension du processus qualité vers le niveau opérationnel	108
II.2.1. Modélisation de la méthode AMDEC	109
II.2.2. Modélisation de la méthode MSP.....	111
II.2.3. Modélisation de la méthode Poka-yoké.....	114
II.2.4. Modélisation de la méthode APR.....	116
II.2.5. Interdépendance entre les méthodes qualité et la méthodologie (en cohérence avec le TQM)	118
II.3. Intégration des indicateurs qualité au méta-modèle	120
III. Conclusion.....	126
Chapitre 4 : Vers une automatisation ... et une faisabilité de l'approche qualité	128
I. Introduction.....	130
II. Automatisation de l'approche qualité.....	131
II.1. Pourquoi automatiser ?	131
II.2. Quel outil pour automatiser et comment ?.....	132
II.2.1. Intégration des méta-modèles d'objets dans le méta-modèle de MEGA	135
II.2.2. Développement des interfaces graphiques de l'approche qualité.....	137
II.2.3. Partie traitement du guide qualité : création et implantation des règles de modélisation	140
II.2.4. Extraction de la connaissance « qualité » résultant de la phase d'instanciation	142
II.3. Utilisation de l'approche qualité à travers l'outil MEGA	144
II.3.1. Utilisation en phase de conception	144
II.3.2. Utilisation en phase d'exploitation	148
III. Faisabilité de l'approche qualité sur un processus manufacturier de type tournage	154
III.1. Situation du cas d'application : l'Atelier Inter-établissement de Productique Lorrain AIPL	154
III.2. Processus de tournage de la pièce Palet (SFP).....	156
III.3. Expérimentation de l'approche qualité sur le processus élémentaire "Finition extérieure"	158
III.3.1. En phase de conception	158

III.3.2. En phase d'exploitation	168
IV. Conclusion	172
Conclusion générale et perspectives	174
Bibliographie.....	181
Annexes	196

Liste des figures

Figure 1. Activités qualité au sein d'un système de management de la qualité de l'entreprise	34
Figure 2. Moteur asynchrone type Flowpak.....	40
Figure 3. L'organisation des différents processus élémentaires du processus «Assembler rotor»	41
Figure 4. Positionnement du processus qualité selon la norme ISO/IEC 15288 d'ingénierie système [ISO/IEC15288 2002]	45
Figure 5. Les activités qualité dans les différents niveaux structurels de l'entreprise [Marcotte 1995], [Gentil 2001], [Pujo 2002]	46
Figure 6. Le TQM comme un système de management [Hellsten 2000]	50
Figure 7. Le cadre de modélisation Zachman [Sowa 1992].....	54
Figure 8. Cadre de référence pour positionner la modélisation et l'intégration d'un processus [Lhoste 1994]	59
Figure 9. Un modèle de données du système qualité QMIS [Sangyoon 2004]	61
Figure 10. Le modèle des objets de matériel [IEC62264-1 2003]	64
Figure 11. Le modèle d'activités de test qualité dans la fonction « management de la qualité » [IEC62264-3 2007]	65
Figure 12. L'échange de l'information entre les différentes fonctions de l'entreprise selon la norme [IEC62264-1 2003]	66
Figure 13. Le diagramme d'un scénario du modèle qualité-maintenance: état hors contrôle détecté [Linderman 2005]	68
Figure 14. Positionnement du module « Quality management » dans le progiciel SAP	69
Figure 15. Modèle des flux d'informations échangées en entreprise manufacturière [Richard 1994].....	70
Figure 16. Diagramme d'activités montrant l'intégration verticale selon [Heredia 1996]	72
Figure 17. Structure particulière des activités qualité dans la grille GRAI [Marcotte 1995] ..	74
Figure 18. Classification des différentes propositions concernant les modèles pour le processus qualité et son intégration.....	75
Figure 19. Les étapes de construction de la maison de la qualité [Akao 1990].....	77
Figure 20. Combinaison entre le MSP et l'APC [Babus 2005]	79

Figure 21. Le tableau intégré de la maîtrise du processus : (s)= MSP, (T)= TPM, (a)= APC [Werner 2001]	80
Figure 22. Structure de la démarche pour une maîtrise automatique de la qualité [Ament 2001]	81
Figure 23. Les concepts de base de l'ADAQ [Bernard 2001]	81
Figure 24. Etapes classiques des méthodes de résolution de problèmes qualité [Bernard 2001]	82
Figure 25. Système industriel en lien avec un réseau de neurones proposé pour la maîtrise de la qualité [Massimo 2004].....	83
Figure 26. Le procédé pour le diagnostic de défaut [Verron 2007]	84
Figure 27. L'approche MDA et les quatre niveaux ontologiques [Naumenko 2003].....	92
Figure 28. Le principe d'instanciation de la méta-classe « Processus »	93
Figure 29. Positionnement des différentes étapes de modélisation de l'approche qualité dans le cadre de modélisation Zachman	94
Figure 30. Les différentes étapes de la démarche pour construire l'approche qualité	95
Figure 31. Modélisation de la relation entre les objets « Processus », « Produit d'entrée » et « Produit de sortie »	99
Figure 32. Modélisation de la relation entre les objets relatifs aux processus, produits de sortie et leurs exigences	100
Figure 33. Modélisation de la relation entre les objets « Cause » et « Action ».....	101
Figure 34. Extrait du méta-modèle des objets, issus de la norme ISO9000:2000, support de la méthodologie proposée en cohérence avec le TQM	102
Figure 35. Extrait du modèle d'activités support de la méthodologie proposée (partie extraite de la norme ISO9000:2000)	103
Figure 36. Extrait du méta-modèle des objets en lien avec la norme IEC62264	104
Figure 37. Modélisation des sous-types de la méta-classe « Cause »	105
Figure 38. Modélisation des sous-types de la méta-classe « Exigence produit »	106
Figure 39. Modélisation des sous-types de la méta-classe « Action préventive »	107
Figure 40. Méta-modèle d'objets support de la méthode AMDEC	110
Figure 41. Modèle d'activités support de la méthode AMDEC.....	111
Figure 42. Méta-modèle d'objets support de la méthode MSP	113
Figure 43. Modèle d'activités support de la méthode MSP	113
Figure 44. Méta-modèle d'objets support de la méthode Poka-Yoké.....	115
Figure 45. Modèle d'activités support de la méthode Poka-Yoké	116

Figure 46. Méta-modèle d'objets support de la méthode APR	117
Figure 47. Modèle d'activités support de la méthode APR	118
Figure 48. Principe de l'intégration des méta-modèles supports des méthodes qualité au méta-modèle initial d'objets.....	120
Figure 49. Une fiche d'identité des indicateurs qualité proposés	123
Figure 50. Outils informatiques pour supporter l'automatisation et la modélisation des processus	132
Figure 51. Procédures d'utilisation de MEGA pour suivre l'approche qualité.....	135
Figure 52. Extrait du méta-modèle support de l'approche qualité implanté dans l'environnement MEGA.....	137
Figure 53. Les diagrammes développés, dans l'« environnement qualité » pour réaliser l'instanciation des méta-modèles supports de l'approche qualité	139
Figure 54. Règles appliquées sur la méta-classe « processus » (guide qualité).....	141
Figure 55. Icônes affichant le résultat du contrôle des règles de modélisation.....	142
Figure 56. Les étapes d'instanciation de l'approche qualité en phase de conception.....	145
Figure 57. Diagramme de procédures (workflow) relatif à la première étape d'instanciation	146
Figure 58. Diagramme de cas d'utilisation de l'approche qualité.....	151
Figure 59. Positionnement des différentes étapes de développement de l'approche qualité dans le cadre de modélisation Zachman	152
Figure 60. Exemple des pièces manufacturières dans l'AIP	155
Figure 61. Les différents processus de fabrication des produits assemblés de type AIP (SFP)	156
Figure 62. Contexte du cas d'application relatif au processus tournage.....	156
Figure 63. Le diagramme de méthodologie qualité assuré au processus "Finition extérieure"	158
Figure 64. Création de l'instance « Réaliser la finition extérieure » de la méta-classe « Processus » à travers le diagramme de méthodologie qualité.....	159
Figure 65. Le guide qualité relatif au processus « Réaliser le finition extérieure ».....	160
Figure 66. Création des instances des méta-classes « produit d'entrée » et « produit de sortie »	161
Figure 67. Extrait du modèle spécifique, du cas d'application, résultant du diagramme de méthodologie qualité dans MÉGA.....	163

Figure 68. Extrait du modèle spécifique, du cas d'application, résultant du diagramme de la méthode AMDEC dans MÉGA.....	165
Figure 69. Extrait du modèle spécifique, du cas d'application, résultant du diagramme de la méthode Poka-Yoké dans MÉGA.....	166
Figure 70. Extrait de la page Web relative au cas d'application.....	169
Figure 71. Extrait des pages Web relatives à la méthode AMDEC dans notre cas d'application.....	170

Abréviation et sigles

ADAQ	Analyse des Défauts pour l'Amélioration de la Qualité
AIPL	Atelier Inter-Etablissements de Productique Lorrain
AMDEC	Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leur Criticité
APC	Automatic process control
APICS	American Production and Inventory Control Society
APR	Analyse Préliminaire des Risques
ART	Adaptive Resonance Theory
CAD	Computer-Aided Design
CAM	Computer Aided Manufacturing
CAPP	Computer-Aided Process Planning
CIM	Computer Integrated Manufacturing
CIMOSA	Computer Integrated Manufacturing Open System Architecture
DMAIC	Define, Measure, Analyze, Improve, Control
DMADV	Define, Measure, Analyze, Design, Verify
EPC	Engineering Process Control
ERP	Enterprise Resource Planning
GERAM	Generalized Enterprise Reference Architecture and Methodology
GRAI	Graphe de Résultats et Activités Interreliés
HOQ	House of Quality
HTML	Hyper Text Markup Language
IDEF0	Integrated Definition for Function 0
IEM	Integrated Enterprise Modelling
IS	Ingénierie Système
MDA	Model Driven Architecture
MES	Manufacturing Execution System
MSP	Maîtrise Statistique de Processus
NIAM	Nijssen Information Analysis
OMG	Object Management Group
PDCA	Plan, Do, Check, Act
PHP	Hypertext Preprocessor

QFD	Quality Function Deployment
QMIS	Quality Management Information System
QUALIDIAG	QUALity DIAGnostic
SAP	System Application Prodigel
SFP	système flexible de production
SGBD	Système de Gestion de Bases de Données
SIFU	Systèmes d'Information Fournisseur/Utilisateur
SMQ	Système de Management de la Qualité
SQL	Structured Query Language
STI	Système de Traitement de l'Information
SysML	Systems Modeling Language
TPM	Total Productive Maintenance
TQM	Total Quality Management
UML	Unified Modeling Language
XML	eXtensible Markup Language

Introduction générale

Depuis plusieurs années, le contexte de mondialisation et l'accroissement de la concurrence ont défini un nouvel ordre économique et industriel pour les entreprises de production de biens. En effet, ces entreprises sont quotidiennement confrontées à la maîtrise et à l'amélioration des performances de l'ensemble de leurs processus afin de garantir leur pérennité et leur compétitivité [Meunier 2003]. Dans cet environnement, chaque entreprise se doit ainsi d'optimiser la satisfaction de sa clientèle et d'améliorer sa performance globale par une amélioration du triptyque Qualité - Coût - Délai [Senechal 2004]. La qualité a toujours été un objectif important depuis que les hommes fabriquent des objets [Pillet 1993]. Elle est matérialisée par des enchaînements logiques d'activités qui concerne le processus de production, le produit, le client, ... L'organisation de certaines activités permet ainsi de représenter différentes notions de qualité : le management de la qualité, l'amélioration de la qualité, la maîtrise de la qualité, ...

La norme ISO 9000:2000 [ISO9000 2000] définit la qualité comme une « aptitude d'un ensemble des caractéristiques intrinsèques à satisfaire des exigences ». La qualité est considérée par [Dessinoz 2000] comme un processus d'entreprise intégré avec les autres processus tels que la production et la maintenance. Dans l'ingénierie système, la norme ISO/IEC 15288 classifie le processus de management de la qualité comme un des processus d'entreprise cohabitant avec les processus de projet, les processus contractuels et les processus techniques. L'objectif de ce processus dans l'ingénierie est donc d'assurer que les produits, services et processus du cycle de vie d'un système satisfont à la fois les objectifs qualité de l'entreprise et du client [ISO/IEC15288 2002].

Ainsi, au sens de l'Ingénierie Système (IS), le processus qualité est en lien avec plusieurs processus de différents types et n'est donc pas limité à une fonction particulière en entreprise [Lopez 2006] ou n'est pas sous la responsabilité d'un seul département [Gogue 2000]. En ce sens, la qualité se décline ainsi sur les niveaux stratégique, tactique et opérationnel de l'entreprise.

D'un point de vue stratégique, la qualité est considérée comme une démarche globale dans l'entreprise devant assurer la satisfaction de l'ensemble de ses partenaires. Ce niveau intègre toutes les activités qualité relatives à l'amélioration de la performance globale, à la certification selon la norme ISO 9000 ainsi qu'au management de la qualité en tant que démarche.

Du point de vue tactique, le processus qualité opère à ce niveau plus spécifiquement sur les processus de type techniques tels que la production et la maintenance. Il contient des activités

relatives à la maîtrise de la qualité des produits et la qualité de processus de production au sens large. Cette activité doit être coordonnée avec les activités du niveau stratégique.

Enfin, le point de vue opérationnel a pour objectif de mettre en place les moyens et les actions pour vérifier que les résultats des processus techniques sont conformes aux exigences spécifiées en terme de qualité, réaliser les contrôles et traiter les non-conformités. Cette activité doit être coordonnée avec les activités du niveau tactique.

La collaboration versus intégration entre les niveaux soulève encore de nombreuses problématiques à la fois industrielles et scientifiques à ce jour pour faire du processus qualité, un véritable processus au sens système couvrant l'ensemble du cycle de vie du produit/processus. Par exemple des entreprises comme ALSTOM-Moteurs qui est à l'initiative de mes travaux, ont besoin de méthodologie (de guide) qui formalise et intègre la qualité principalement au niveau tactique (i.e. capacité décisionnelle confiée à des équipes autonomes) en relation avec les deux autres niveaux pour améliorer sa performance globale. L'objectif de cette méthodologie est de maîtriser conjointement la qualité du produit et la qualité de leurs processus de production dans une approche cycle de vie du processus de maîtrise de la qualité (de la conception jusqu'à l'exploitation). Relativement à ces besoins de formalisation et d'intégration, des méthodes, des méthodologies et des approches qualité existent à ce jour qui supportent tout ou partie du processus qualité inhérent à un niveau ou à l'interconnexion entre niveaux. Les méthodes, et les approches les plus couramment utilisées sont Quality Function Deployment (QFD) [Akao 1990], Six Sigma [Breyfogle 2003], Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leur Criticité (AMDEC) [CEI 1985], ...

Une des approches significatives par rapport à la problématique d'intégration est le TQM (Total Quality Management) qui se positionne dans les différents niveaux structurels en entreprise [Rodney 2006]. Un des objectifs de cette approche qualité est d'améliorer et de maîtriser la qualité du processus de production pour maîtriser la qualité du produit. [Hellsten 2000] a défini le TQM comme un système de management constitué de trois composants qui sont mutuellement dépendants : « *core values* », *methodologies et outils/méthodes*. Cette approche présente un intérêt particulier puisqu'elle permet d'intégrer, au sein des composantes, différentes méthodes et méthodologies qualité telles que QFD, AMDEC, Maîtrise Statistique de Processus (MSP), ... Cependant, ces méthodes et méthodologies sont souvent « informelles » car décrites sous une base textuelle ou graphique [Dale 1990], [Juan 2004]. Elles ne contiennent donc pas une phase de formalisation des concepts qualité dans leur phase de conceptualisation indispensable pour la maîtrise et

l'amélioration de la qualité [Marcotte 1995]. Aussi, les méthodologies applicables au niveau tactique permettent difficilement de maîtriser et d'améliorer simultanément la qualité du produit et la qualité de ses processus de production [Ettlie 1994]. De plus, la plupart de ces méthodologies sont applicables dans la phase d'exploitation mais peu d'entre elles, à part le QFD et le Six sigma, le sont en conception et en exploitation [John 2000], [Govers 1996], [McClusky 2000].

Pour répondre simultanément aux besoins industriels à l'origine de cette thèse et au manque de formalisation préalablement mentionné, **notre contribution** porte sur la proposition d'une approche qualité générique permettant de formaliser le processus qualité au niveau tactique en intégration avec les autres niveaux opérationnel et stratégique en entreprise. Notre approche se positionne en cohérence avec une approche TQM dans l'objectif de maîtriser et d'améliorer conjointement la qualité du produit et la qualité de ses processus de production. Cette première formalisation (car ne couvrant pas toutes les notions de qualité) doit permettre de modéliser de façon générique le processus qualité de niveau tactique et ses interactions nécessaires pour en réaliser l'intégration à la fois avec les autres niveaux stratégique et opérationnel mais aussi avec d'autres processus tels que le processus maintenance pour assurer la performance globale en entreprise. Cette approche de formalisation s'intègre dans le cadre de modélisation Zachman [Zachman 1987] offrant une cohérence relativement aux différents modèles à réaliser.

Par rapport à cette formalisation, l'originalité de notre contribution réside dans une première unification, sous la forme de méta-modèles, des concepts qualité sur la base:

- de l'approche processus définie dans la norme ISO9000:2000 de « niveau tactique » [ISO9000 2000]. L'édition de la nouvelle version ISO9000:2005 [ISO9000 2005] n'impacte pas notre proposition dans le sens où les changements apportés à l'ancienne version ne concernent pas les concepts qualité modélisés dans notre approche qualité.
- de la fonction « management de qualité » telle que prônée par la norme IEC62264 de « niveau management » [IEC62264-1 2003], [IEC62264-3 2007],
- de méthodes qualité telles que l'AMDEC, la MSP, l'Analyse Préliminaire des Risques (APR) [Cherfi 2002], le Poka-yoké [Shingo 1987],
- de la modélisation d'indicateurs qualité.

Cette approche se veut donc exploitable de la conception à l'exploitation du processus de maîtrise de la qualité. Dans la phase de conception, notre contribution doit offrir un guide qui

aide l'ingénieur qualité, d'abord pour développer un modèle spécifique par une phase d'instanciation du méta-modèle support de la méthodologie (en cohérence avec le TQM), ensuite pour exécuter la méthode qualité adéquate au moment opportun, et finalement pour calculer des indicateurs qualité (phase d'évaluation). Dans la phase d'exploitation, la connaissance formalisée et structurée dans le modèle spécifique (l'ensemble des instances) est directement transposable dans un formalisme compréhensible par l'opérateur sur site (i.e. pages Web) pour mieux suivre et anticiper les dérives qualité du produit/processus principalement sur les axes surveillance, diagnostic et action. Pour faciliter l'utilisation de notre approche qualité, nous avons proposé une automatisation de cette approche à l'aide de l'outil MEGA¹.

Notre contribution est ainsi exposée dans ce manuscrit sous la forme de 4 chapitres complémentaires. Le premier chapitre introduit une définition d'un processus qualité au sein de l'entreprise et des différentes notions de qualité. Certaines notions sont reprises pour introduire la problématique industrielle qui est la genèse de ces travaux de thèse. Ceci nous amène à positionner le processus qualité sur les différents niveaux structurels de l'entreprise en mettant en évidence l'impact de la modélisation et de l'intégration du processus qualité dans l'entreprise afin de maîtriser et d'améliorer la qualité du produit/processus. Sur la base de ce positionnement, le deuxième chapitre nous permet de présenter un état de l'art recensant les travaux principaux sur les aspects « modèles, méthodes et méthodologies » liés à la formalisation et à l'intégration du processus qualité pour répondre à l'objectif d'une plus grande maîtrise et de l'amélioration de la qualité conjointe produit/processus. Ce recensement met en évidence de réelles problématiques scientifiques non totalement résolues à ce jour pour satisfaire les besoins de formalisation et d'intégration. Ces manques justifient le contenu du chapitre 3 dédié à la définition de la méthodologie proposée (le guide) et qui se base sur un principe de méta-modélisation de concepts qualité garant de la genericité attendue. La méthodologie, construite sur 3 étapes, se positionne en cohérence avec le TQM et permet de formaliser l'interdépendance entre les trois composantes du TQM. Enfin le chapitre 4 décrit, d'une part, l'automatisation de cette méthodologie à l'aide de l'outil MEGA afin de la rendre accessible à tous ingénieurs qualité, et d'autre part, une faisabilité de cette méthodologie sur un cas d'application manufacturier de type tournage couvrant la phase de conception et d'exploitation. Le passage du méta-modèle au modèle spécifique (phase de conception) du processus de tournage est réalisé par une procédure d'instanciation supportée par l'outil.

¹ <http://www.mega.com>

Chapitre 1 : La qualité ... comme un processus d'entreprise

I. Introduction

La qualité est un objectif important depuis que les besoins de consommateurs ont été intégrés dans la boucle de décision et elle devient un véritable outil stratégique et offensif pour faire face aux nouveaux enjeux de l'entreprise [Cattan 2006]. Elle est actuellement considérée comme un des leviers principaux avec lesquels une entreprise peut augmenter sa position concurrentielle globale. La qualité est devenue essentielle pour s'assurer que les produits d'une entreprise satisfont les besoins des clients et ceci quelque soit leur domaine d'activité ou leur taille. Ce constat requière ainsi de la part des entreprises une maîtrise et une amélioration quasi continue de l'ensemble de leurs processus afin de garantir la performance attendue et la satisfaction de leurs clients pour assurer leur pérennité et compétitivité.

En ce sens, la qualité est à considérer comme un processus clé de l'entreprise qui est intégré avec des autres processus tels que le processus maintenance, le processus de production, ... Elle ne doit pas être limitée à une fonction particulière ou un seul département de l'entreprise. Sur la base de ce constat, dans ce chapitre, nous présentons d'abord plusieurs définitions de la qualité en mettant en évidence les termes de « processus » et d'« activités » qualité. Des organisations spécifiques de certaines de ces activités qualité nous permettent d'exposer des notions de qualité couramment utilisées. Certaines de ces notions sont reprises pour présenter la problématique industrielle qui est à l'origine de ces travaux de thèse et qui nous amène à positionner le processus qualité sur les différents niveaux structurels de l'entreprise. Ce positionnement impose de se focaliser sur l'intégration intra et inter niveaux structurels en entreprise à travers une phase de modélisation du processus. En ce sens, différents cadres de modélisation qui positionnent le processus qualité, sont présentés à la fin du chapitre. Finalement, par rapport à ce positionnement global, le chapitre se conclut par une synthèse sur les principaux verrous industriels et scientifiques auxquels se réfèrent cette thèse.

II. Définitions de la qualité

Le mot « qualité » est de plus en plus utilisé dans les entreprises, que ce soit dans le secteur alimentaire, industriel ou même dans le secteur des services. La notion de qualité est apparue avec le contrôle des produits visant à réduire le nombre de leurs défauts. Cette notion de qualité a évolué avec le temps et a étendu son champ d'action vers les phases de conception, production, installation, marketing, après-vente et soutien logistique [Lopez 2006]. En particulier dans le monde industriel, cette notion est complexe et peut se voir assigner un sens différent suivant les personnes et les entités considérées [Reeves 1994]. La norme NF X 50 -120 [NF X 50 1992] définit la qualité comme étant : « l'ensemble des caractéristiques d'une entité qui lui confèrent l'aptitude à satisfaire des besoins exprimés et implicites ». Cette définition est doublement générique, il faut préciser la qualité « de quoi » (d'un produit, d'un processus, d'un service, ...) et aussi les besoins « de qui » (un utilisateur, un consommateur, un chef de projet...). Le terme qualité ne peut donc pas être défini dans l'absolu mais toujours relativement à quelque chose et pour une entité donnée. En effet, le terme « qualité » regroupe plusieurs aspects en fonction du besoin ou de la phase abordée [Chové 1992], [Dominique 2003], [ISO8402 1995]:

- pour un client ou pour un utilisateur : la qualité c'est l'aptitude d'un produit ou d'un service à satisfaire les besoins des ses utilisateurs,
- pour la production : la qualité d'un système de production réside dans son aptitude à produire au moindre coût et dans un court délai des produits satisfaisant les besoins des consommateurs,
- pour l'entreprise ou une organisation : la qualité consiste en la mise en œuvre d'une politique qui tend à la mobilisation permanente de tout son personnel pour améliorer
 - la qualité de ses produits et services,
 - l'efficacité de son fonctionnement,
 - la pertinence et la cohérence de ses objectifs.

Dans le même sens, le dictionnaire de l'APICS (American Production and Inventory Control Society) a proposé une définition plus complète de la qualité selon différents points de vue de la qualité « conformité au besoin ou aptitude à l'emploi » [Apics 1992]:

- une qualité transcendée est un idéal, une condition de l'excellence,
- l'approche « produit » de la qualité est fondée sur les attributs du produit,
- l'approche « utilisateur » de la qualité est l'aptitude à l'emploi,
- l'approche « production » de la qualité est la conformité au besoin,
- l'approche « valeur » de la qualité est le degré d'excellence pour un prix acceptable.

Cette qualité a été définie sur sa partie mathématique (statistique), de façon plus conceptuelle et globale comme inversement proportionnelle à la variabilité. L'accroissement de la qualité s'obtient donc par la réduction de cette variabilité. Le but des méthodologies et méthodes qualité est ainsi de réduire la variabilité sur des caractéristiques clés essentielles à la satisfaction du client.

La norme ISO9000:2000 [ISO9000 2000] de son côté donne une définition de la qualité « aptitude d'un ensemble de caractéristiques intrinsèques à satisfaire des exigences ». Elle précise de plus que « le terme Qualité n'est pas utilisé pour exprimer un degré d'excellence dans un sens comparatif... non plus dans un sens quantitatif pour des évaluations techniques... La qualité d'un produit ou service est influencée par de nombreuses phases d'activités interdépendantes, telles que la conception, la production, le service après-vente et la maintenance... ». En effet, dans la pratique, les différents aspects de la qualité peuvent se réunir sous deux formes [Fleurquin 1996]:

- La **qualité externe**, correspondant à la satisfaction des clients. Il s'agit de fournir un produit ou des services conformes aux attentes des clients afin de les fidéliser et ainsi améliorer sa part de marché.
- La **qualité interne**, correspondant à l'amélioration du fonctionnement interne de l'entreprise. L'objet de la qualité interne est de mettre en oeuvre des moyens permettant de décrire au mieux l'organisation, de repérer et de limiter les dysfonctionnements. Son objectif essentiel est de mieux maîtriser et améliorer la qualité des produits et aussi la qualité de tous les processus de l'entreprise. Cette qualité interne passe généralement par

une étape d'identification et de formalisation des processus internes réalisée grâce à une démarche participative.

En conclusion, la qualité ne peut pas être définie en un seul aspect. La définition que nous adoptons dans cette thèse est celle de la norme ISO9000:2000 complétée par la vision interne de la qualité qui s'obtient par l'inversement proportionnelle à la variabilité. Cette définition est compatible avec les problèmes industriels origines de ces travaux de thèse.

En effet, la qualité est vue comme un ensemble d'activités qui concerne le produit, le processus de production, le client, la direction, ... Des organisations spécifiques de certaines activités permettent d'introduire différentes notions de qualité en entreprise tels que : l'audit qualité, la politique qualité, l'assurance qualité, ... [Forman 1998], [Forman 2001]. Nous synthétisons dans la Figure 1 les différentes activités qui sont représentatives de ces différentes notions.

Chacune de ces activités réalise une fonction précise dans l'objectif d'améliorer la performance globale dans l'entreprise. Cette amélioration de la performance globale implique de considérer la qualité comme un des processus qui est intégré en entreprise. En effet le processus, au sens général, est défini par les normes ISO9000:2000 [ISO9000 2000] et FD X 50-176 [FD X50-176 2000] comme « un ensemble d'activités corrélées ou interactives qui transforme des éléments d'entrée en éléments de sortie ». Ainsi, un processus représente un enchaînement d'activités qui reçoit des objets en entrée et leur ajoute de la valeur tout en fournissant des objets de sortie [Abdmouleh 2004]. Dans ce sens, le processus qualité est défini comme un ensemble d'activités permettant de situer des procédures qualité dans un système de management de la qualité en entreprise [Meillier 1994].

Le processus qualité, selon les différentes notions et pour améliorer la performance globale, se décline sur les différents niveaux structurels de l'entreprise : stratégique, tactique et opérationnel [Marcotte 1995]. Par exemple, toutes les activités (procédures) qualité liées à la notion de planification de la qualité sont traitées dans le niveau stratégique. Par contre, les activités qualité liées à la notion de contrôle de la qualité sont exécutées dans le niveau opérationnel. De même, le processus qualité est lié aux autres processus de l'entreprise afin de communiquer avec les différents types de processus : maintenance, production, livraison, ... pour échanger des informations dans l'entreprise [Vernadat 1996]. En effet, la mise en œuvre du processus qualité exige l'exploitation des outils, méthodes, méthodologies et approches qui permettent de satisfaire l'objectif qualité demandé selon la notion considérée [Dale 1998]. Actuellement dans une entreprise, un système de management de la qualité (SMQ) gère,

organise et inclut toutes les activités (processus) et tous les acteurs concourants à la qualité [Fleurquin 1996]. Le SMQ est défini comme « l'élément du système de management de l'organisme qui se concentre sur l'obtention de résultats, en s'appuyant sur les objectifs qualité pour satisfaire selon le cas les besoins, attentes ou exigences des parties intéressées » [ISO9000 2000]. Dans le cadre de ce système, différentes notions de la qualité peuvent donc être intégrées et manipulées.

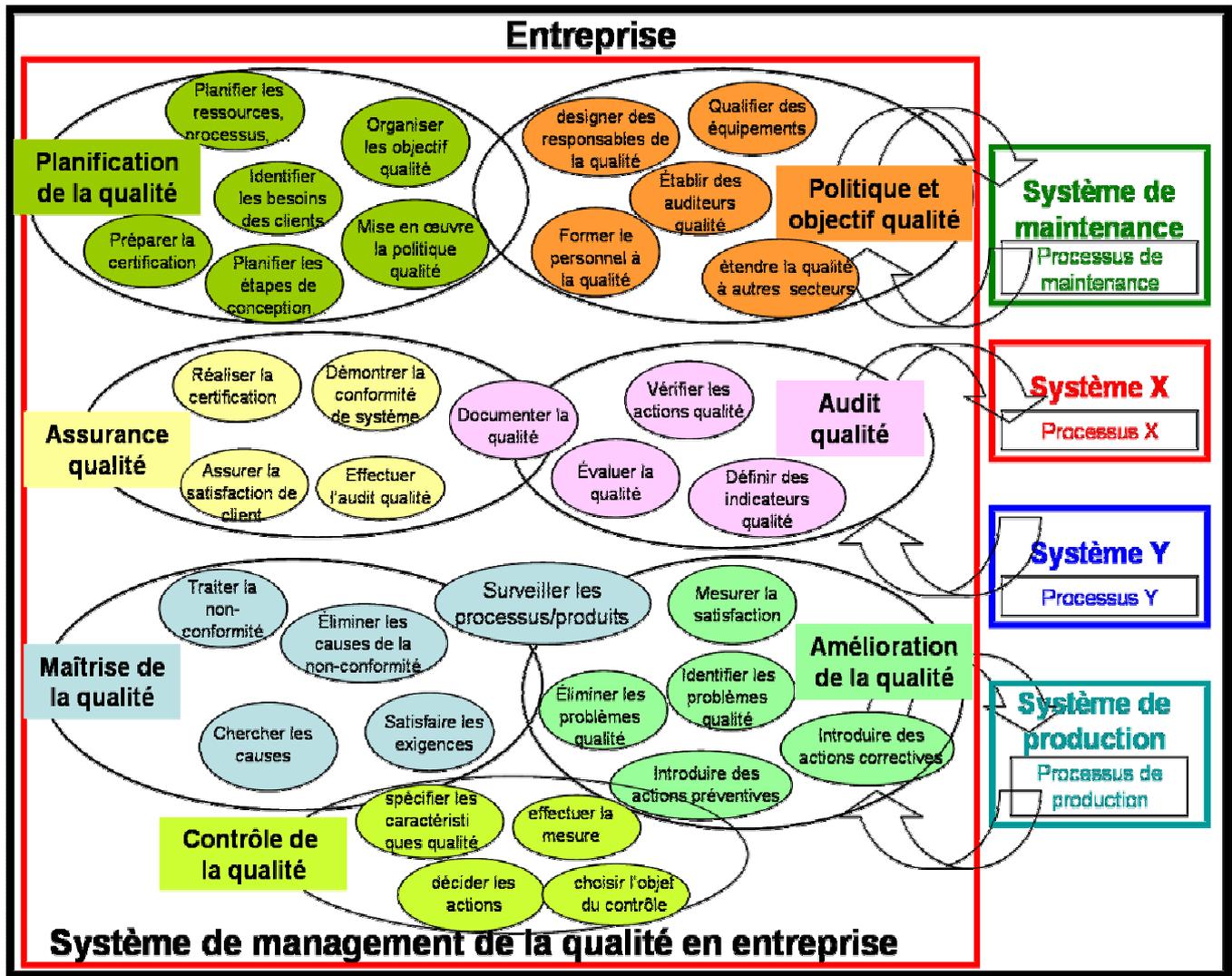


Figure 1. Activités qualité au sein d'un système de management de la qualité de l'entreprise

III. Différentes notions de la qualité au sein d'un système de management de la qualité

La qualité en entreprise peut être représentée comme un processus dont la sélection et l'organisation particulière de certaines activités concrétisent différentes notions de qualité. En ce sens, cette section a pour but de définir les principales notions de la qualité relativement aux objectifs et activités déployés dans un système de management de la qualité.

Le management de la qualité est défini comme : un ensemble d'activités coordonnées permettant d'orienter et de contrôler un organisme en matière de qualité. Il vise à satisfaire les besoins du client, à renforcer la compétitivité de l'entreprise et à gérer systématiquement les risques de l'entreprise. Le management de la qualité s'applique normalement à toutes les phases du cycle de vie d'un produit ou d'un service et à toutes les phases d'un processus. L'implantation de celui-ci est réalisée par la mise en œuvre d'un système de management de la qualité (SMQ). Le SMQ apporte à l'organisme et à ses clients la confiance en son aptitude à fournir des produits qui satisfont aux exigences. La famille des normes ISO9000 a été élaborée pour aider les organismes à mettre en œuvre des SMQ efficaces sur la base de plusieurs activités telles que [ISO9000 2000]:

- déterminer les besoins et les attentes des clients et des autres parties intéressées,
- établir la politique et les objectifs qualité de l'organisme,
- déterminer les processus et les responsabilités nécessaires pour atteindre les objectifs qualité,
- déterminer et fournir les ressources nécessaires pour atteindre les objectifs qualité,
- définir les méthodes permettant de mesurer l'efficacité et l'efficience de chaque processus,
- mettre en œuvre des méthodes,
- déterminer les moyens permettant d'empêcher les non-conformités et d'en éliminer les causes,
- établir et appliquer l'amélioration continue d'un processus.

Dans l'objectif de mener l'organisme vers de meilleures performances, le management de la qualité contient plusieurs notions de la qualité telles que: la politique qualité, l'objectif qualité, la planification de la qualité, l'amélioration de la qualité, la maîtrise de la qualité, le contrôle de la qualité, l'assurance de la qualité, et l'audit qualité [Clavier 1997], [Joucla 2000].

Les définitions données à ces notions de qualité, dans cette section, se basent sur les références [ISO9000 2000], [Dumke de Medeiros 1998], [Lérat-Pytlak 2002].

- **La politique et l'objectif qualité** : la politique est définie comme l'orientation et l'intention générale relative à la qualité d'un organisme telles qu'elles sont officiellement formulées par la direction. La politique qualité est généralement cohérente avec la politique globale de l'organisme. Les objectifs qualité sont donc généralement fondés sur la politique qualité de l'organisme. Ils sont habituellement spécifiés pour des fonctions et niveaux pertinents de l'organisme concernent les activités [Forman 1995]:

- sensibiliser et former le personnel à la qualité,
- désigner des responsables qualité,
- étendre le système qualité à certains secteurs,
- faire qualifier certains équipements qualité,
- former des auditeurs qualité.

Ces activités relatives à la politique et l'objectif qualité sont adoptées directement dans la notion de planification de la qualité.

- **La planification de la qualité** : c'est une partie du management de la qualité axée sur la définition des objectifs de qualité et la spécification des processus opérationnels et des ressources afférentes, nécessaires pour atteindre ces objectifs. Elle se traduit par des plans d'actions qui définissent les activités à mener, les responsables et la date d'échéance. Elle contient plusieurs activités telles que :

- identifier les besoins des clients,
- préparer la mise en œuvre de la politique qualité,
- organiser et préciser des objectifs qualité et leurs échéances,

- planifier les actions qualité, les processus, les ressources, les équipements,
- planifier les étapes de la conception, de la réalisation, de la mise en essai et de la livraison,
- préparer l'organisme à la certification.

- **L'amélioration de la qualité** : c'est une partie du management de la qualité axée sur l'accroissement de la capacité à satisfaire aux exigences de la qualité. Généralement l'amélioration de la qualité des produits englobe les activités qui permettent l'identification et l'élimination des problèmes rencontrés par les utilisateurs et de développer les fonctions absentes ou nouvelles. L'amélioration de la qualité des processus, de son côté, contient les activités qui permettent une identification de tous les problèmes rencontrés et de toutes les sources d'amélioration possibles sans pour autant qu'il y ait dysfonctionnement. La réalisation de toutes ces améliorations implique la mise en œuvre d'une démarche de conception ou de résolution de problèmes (proposition des actions correctives et préventives) en fonction de leur nature.

- **La maîtrise de la qualité** : c'est une partie du management de la qualité axée sur la satisfaction des exigences pour la qualité. La maîtrise de la qualité cherche à rendre stable tous les processus de l'entreprise et contient les activités qui permettent de rechercher et d'éliminer les causes de tous les problèmes rencontrés par les produits et les processus en entreprise [Shewhart 1989]. La maîtrise de la qualité nécessite la prise en compte des problèmes, leur résolution lorsqu'on peut faire disparaître totalement les causes et leur surveillance dans le cas contraire. La maîtrise de la qualité est chargée du respect de la conformité des produits ou des processus par rapport à des objectifs ou des référents. La maîtrise de la qualité de produit peut être assurée par une maîtrise de la variabilité des caractéristiques qualité des produits. Dans ce sens, l'objectif recherché est un produit conforme aux spécifications. D'autre part, la maîtrise de la qualité des processus entraîne l'élaboration de procédures permettant de franchir les points critiques (ou risques de dysfonctionnement) de chaque processus. Les activités réalisées par la maîtrise de la qualité ont donc pour but d'éliminer toutes les causes possibles des dysfonctionnements pour obtenir un processus conforme.

- **Le contrôle de la qualité** : Le contrôle de la qualité est une opération de maîtrise de la qualité à un stade donné du processus considéré, qui a pour but de déterminer si les résultats obtenus à ce stade sont conformes aux exigences spécifiées. Il s'intéresse à la maîtrise des procédés à travers la mesure de caractéristiques des produits que le procédé réalise en utilisant des techniques comme le contrôle statistique, le cycle de Deming... [Meillier 94] a défini plusieurs étapes pour réaliser ce contrôle de qualité :

- choisir l'objet du contrôle
- choisir l'unité de mesure
- spécifier les caractéristiques qualité
- créer un dispositif qui peut mesurer les caractéristiques en accord avec l'unité de mesure
- effectuer la mesure
- interpréter la déviance entre la mesure réelle et le standard
- décider les actions

- **L'assurance qualité** : c'est une partie du management de la qualité visant à donner confiance en ce que les exigences pour la qualité seront satisfaites (confiance interne, confiance externe). L'assurance interne consiste à donner confiance à la direction de l'entreprise en ce qui concerne l'obtention de la qualité. Ce sont les résultats des audits internes et externes qui vont démontrer la conformité du SMQ qui a été mis en place, son efficacité et son efficience. D'autre part, l'assurance externe de la qualité consiste à donner confiance au client en ce qui concerne le respect des exigences du contrat. Le fournisseur doit démontrer que le fonctionnement, le maintien et l'efficacité du SMQ sont conformes au modèle choisi à travers des preuves tangibles de l'application des procédures établies. Les activités de l'assurance de la qualité sont les dispositions pour obtenir ces deux types de confiance à la qualité. Elles sont liées aux activités de la maîtrise de la qualité tout au long du cycle de vie d'un produit ou au long d'un processus. En plus, l'assurance qualité peut supporter d'autres activités qualité comme : réaliser la certification, documenter la qualité, lancer l'audit qualité, ...

- **L'audit qualité** : La norme ISO9000 :2000 définit l'audit qualité comme : « processus méthodique, indépendant et documenté permettant d'obtenir des preuves d'audit et de les

évaluer de manière objective pour déterminer dans quelle mesure les critères d'audit sont satisfaits ». L'audit qualité fait généralement appel à un référent souvent de type normatif. Elle contient des activités qui ont pour objectif d'évaluer le niveau global de qualité de l'organisme et de vérifier si les actions liées à la qualité sont conformes aux dispositions prévues. Cette évaluation est effectuée normalement en utilisant des indicateurs qualité. La norme ISO9000 :2000 a distingué deux types d'audit :

- les audits internes, appelés parfois « audits première partie » qui sont réalisés par l'organisme lui-même,
- les audits externes, « audits seconde ou tierce partie ».

L'audit qualité interne s'inscrit comme une donnée essentielle de la mesure, de l'analyse et de l'amélioration d'un système de management de la qualité. Un des objectifs essentiels de l'audit qualité interne est de définir des indicateurs qualité. Ces indicateurs doivent faire l'objet d'une analyse et, dans la mesure du possible, de la définition d'actions pour améliorer la situation [Villalonga 2003].

En résumé, les différentes notions de qualité distinguées sont englobées dans un système de management de la qualité (SMQ) en entreprise. Ce système pilote le processus qualité issu de ces notions. Chaque notion vise à accomplir des activités qualité dans un séquençement précis pour obtenir l'objectif visé. Ainsi, le SMQ qui réunit l'ensemble des activités qualité peut aider les organismes à accroître la satisfaction de leurs clients. Il incite les organismes à analyser les exigences des clients, à définir les processus qui contribuent à la réalisation d'un produit acceptable pour le client et à en maintenir la maîtrise. Ainsi, il apporte la confiance en son aptitude à fournir des produits qui satisfont aux exigences.

Dans le domaine industriel, chaque entreprise a pour objectif de développer un système de management de la qualité qui lui permet de conforter sa position stratégique face à la concurrence. Cependant, l'objectif n'est pas si simple à atteindre car plusieurs obstacles relatifs à la mise en œuvre de ce système qualité ou d'une de ces composantes peuvent apparaître. En ce sens, nous mettons en évidence dans la section suivante les problématiques industrielles, issues de l'entreprise ALSTOM-Moteurs, qui ont donné naissance à ces travaux de thèse. Ces problématiques sont relatives au management de la qualité dans cette entreprise.

IV. Problématique industrielle à l'origine de ces travaux de thèse

L'entreprise ALSTOM-Moteurs (Nancy), est l'entreprise à l'initiative des travaux présentés dans cette thèse. Ces travaux ont débuté en 2001 dans le cadre des travaux de DEA de M.Dellea et C.Ramseyer [Dellea 2002], [Ramseyer 2002]. Alstom-Moteurs possédait à cette époque à Nancy une usine fabriquant principalement des machines électriques de type moteurs asynchrones mais également des moteurs synchrones.

La préoccupation majeure d'ALSTOM était de maîtriser la qualité au niveau des lignes de fabrication des moteurs. Un moteur asynchrone (Figure 2) à cage d'écureuil se compose principalement : d'un stator, d'un rotor, d'une carcasse, d'un système de refroidissement. Le stator est constitué d'un assemblage de tôles ferromagnétiques dans lesquelles sont pratiquées des encoches qui servent au passage du bobinage inducteur en cuivre. En revanche, le rotor est constitué :

- de tôles ferromagnétiques empilées dans lesquelles sont pratiquées des encoches qui servent de logement aux barres de cuivre ou d'aluminium de la cage d'écureuil, des trous de ventilation, et des événements (« tranches » d'air entre les tôles) permettant de ventiler,
- de la cage, assemblant des barres conductrices fermées aux extrémités par des couronnes.



Figure 2. Moteur asynchrone type Flowpak

Nous présentons, en Figure 3 sous forme de processus, la ligne de fabrication des rotors pour illustrer l'organisation des différents types de processus réalisés dans cette ligne. Cette ligne était considérée en 2001 comme assez critique au niveau de la qualité (non-conformités du produit ayant une influence sur les processus postérieurs).

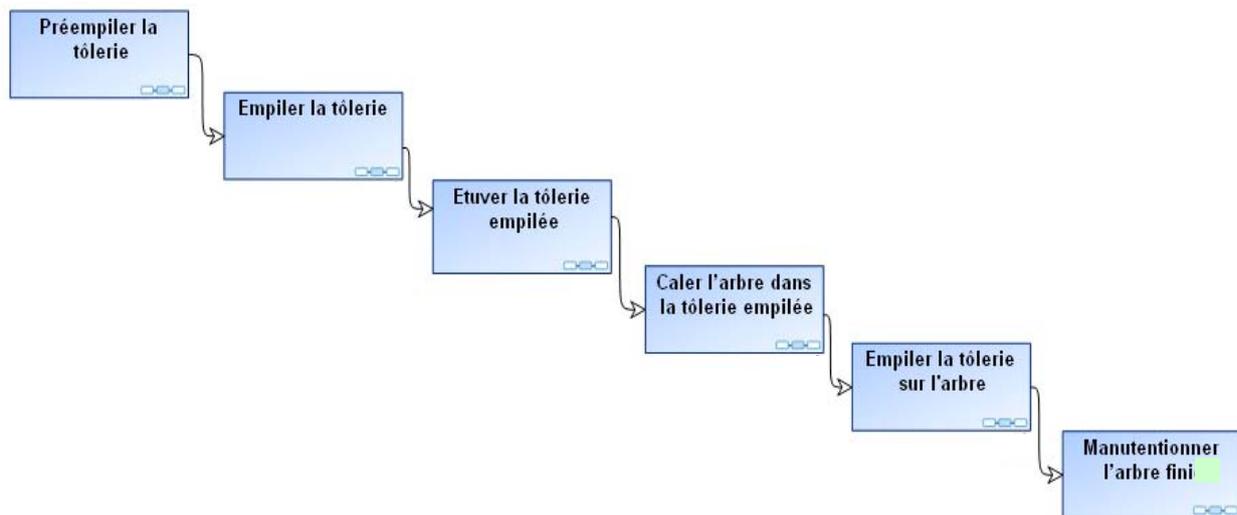


Figure 3. L'organisation des différents processus élémentaires du processus «Assembler rotor»

Cette usine à Nancy étant relativement vieille, une action de délocalisation du site a été décidée courant 2000 pour implanter une nouvelle usine sur Champigneulle. En parallèle de cette action de délocalisation ont été aussi initiées des études pour la réorganisation des processus de fabrication et d'amélioration des performances des produits (i.e. pour ne plus retrouver des causes de non-conformités liées à l'agencement des machines sur le site de Nancy, par exemple sur la ligne de fabrication des rotors). C'est dans ce contexte que s'est engagée une collaboration entre le CRAN et Alstom-Moteurs relativement à la maîtrise conjointe de la qualité de leurs produits et de leurs processus de production. Pour mener à bien les études sur l'aspect qualité, 4 phases majeures devaient être développées :

1. analyse de la situation existante sur le site de Nancy,
2. identifier les problèmes sur la qualité produit/processus (i.e. problèmes qualité relatifs aux activités du management de la qualité principalement),
3. proposer et évaluer des solutions (sur la réorganisation, sur l'évolution des produits ...),
4. mettre en œuvre ces solutions sur le nouveau site de Champigneulle sur une période échelonnée en fonction des moyens financiers disponibles (i.e. priorité des actions).

Par rapport aux phases 1 et 2, les problèmes majeurs suivants ont pu être identifiés:

- **la planification de la qualité** : l'organisation des différents postes de travail dans l'usine entraînait des problèmes qualité résultant, premièrement, du mauvais transport des pièces fabriquées lors de leur transfert entre ces différents postes, et deuxièmement de la non détermination de la responsabilité qualité à chacun de ces postes. Pour cela, ALSTOM-Moteurs a souhaité réorganiser le personnel de production pour lui confier plus de responsabilités en lien avec les compétences métier de chacun de ces opérateurs. Elle voulait mettre en place des équipes autonomes au niveau de chaque processus de production. Une équipe doit être responsable des différentes activités qualité (activités des différents niveaux structurels) relatives à la maîtrise et à l'amélioration de la qualité du produit et du processus de production. Cette équipe doit être apte à anticiper les dérives potentielles de la qualité et aussi apte à diagnostiquer et à agir face à un problème qualité détecté de façon précise.
- **la maîtrise et l'amélioration de la qualité** :

ALSTOM-Moteurs avait des problèmes dus à la :

- difficulté pour identifier les problèmes qualité rencontrés (variabilités), sur le produit final « Moteur » principalement, ainsi que pour identifier le lien entre ces problèmes et les variabilités des processus de développement du produit. Ces variabilités ont pu engendrer des non-conformités relatives aux produits fabriqués par ALSTOM-Moteurs. Des autres non-conformité du produit final peuvent être engendrer aussi des chocs intervenants lors du transport des moteurs (L'activité de transport n'a pas jamais été réellement considérée dans le cadre de études qualité dans cette entreprise).
- difficulté de maîtriser et d'améliorer conjointement et continûment la qualité des produits et de leurs processus de production sur l'ensemble du cycle de vie du processus qualité (de la conception jusqu'à l'exploitation) et dans un objectif de faire progresser la productivité de l'entreprise. En effet ALSTOM-Moteurs cherchait également à maîtriser chaque processus (le processus de production des moteurs est divisé en plusieurs processus élémentaires comme assembler les tôles, peindre, tester...) dans une vision globale de la performance.

Ces problèmes rencontrés sur l'ancien site ont initié en phase 3, une orientation vers le déploiement d'un système de management de la qualité (SMQ). Pour ce faire, ALSTOM-Moteur a souhaité disposer d'une méthodologie (d'un guide) générique (utilisable sur différentes classes d'applications) lui permettant de spécifier correctement les caractéristiques de ce SMQ avant de le développer, tout ceci pour assurer que le SMQ réponde parfaitement aux besoins attendus (adéquation besoin – solution). Cette méthodologie devrait offrir les moyens (outils, méthodes) pour :

- aider l'ingénieur qualité à réaliser une meilleure maîtrise et amélioration de la qualité du produit par une maîtrise de ses processus de production. Ceci se manifeste, dans la phase de conception, en traduisant ses exigences informelles en connaissance formalisée, et dans la phase d'exploitation, en mettant à la disposition de l'opérateur de production (équipe autonome) sur site, cette connaissance pour mieux suivre et anticiper en ligne les dérives qualité du produit/processus.
- formaliser la qualité principalement au niveau tactique en relation avec les niveaux stratégique et opérationnel de l'entreprise (guide qualité). L'objectif de cette formalisation de la qualité inter-niveaux est d'avoir un seul processus qualité qui est partagé sur les différents niveaux structurels de l'entreprise, pour une plus grande maîtrise et amélioration de la performance globale du produit. Ainsi, à l'aide de ce processus qualité, l'équipe autonome de qualité devrait donc être apte à introduire des actions qualité sur les différents niveaux structurels en entreprise mais en cohérence avec les objectifs de performances attendues (capacité décisionnelle distribuée mais intégrée au sein du SMQ sous une responsabilité plus hiérarchique).

Les différents besoins d'ALSTOM-Moteurs, précédemment énoncés et sources de ces travaux, peuvent ainsi se résumer comme suit :

- disposer d'une méthodologie qualité générique, dans le cadre d'un Système de Management de Qualité. La finalité d'une telle méthodologie demandée est globalement de maîtriser et d'améliorer la qualité du produit en maîtrisant et en améliorant la qualité des processus de production (maîtrise conjointe produit/processus dans une approche globale).
- disposer d'une méthodologie qui supporte la modélisation et l'intégration d'un processus qualité de la phase de conception de ce processus jusqu'à sa phase d'exploitation, un

véritable processus au sens système, dont l'objectif est d'améliorer la performance globale de l'entreprise. Cette modélisation du processus qualité est définie comme un moyen qui permet : la formalisation et la structuration du processus qualité, l'encapsulation de la connaissance qualité, et la transformation du savoir-faire qualité en entreprise.

- disposer d'une méthodologie qui permet, aux équipes autonomes de qualité, d'accéder sur site à la connaissance nécessaire pour exécuter des actions qualité sur les différents niveaux structurels de l'entreprise (en cohérence avec la politique fixée) : stratégique, tactique et opérationnel.

Quelques éléments de cette méthodologie ont pu être utilisés, suite aux travaux initiaux de M. Della et de C. Ramseyer, en phase 4 (au moment de la définition du site et de l'implantation – version 0 - des machines à Champigneulle) mais le cœur de notre contribution n'a pas été (encore) exploitée sur ce nouveau site d'une part, parce que l'outil support (à toute la démarche; phase de conception et d'exploitation) n'est opérationnel réellement que depuis quelques mois, mais aussi parce que ALSTOM-Moteurs a vendu son site de Champigneulle suite à des restructurations du groupe. Cependant ce site est toujours opérationnel puisqu'il a été repris par « Convertteam » qui fabrique des produits similaires. Nous avons ré-établi quelques liens avec des personnels cadres, de cette nouvelle entreprise, pour éventuellement dans un futur proche, re-transférer cette méthodologie.

V. La qualité comme un processus en entreprise

Par rapport au cas ALSTOM-Moteurs et de façon plus générale sur le constat d'une performance globale attendue, le processus qualité doit être vu comme un des processus de l'entreprise [Vernadat 1996], [Dessinoz 2000]. Le processus qualité concourant à l'obtention d'un produit performant n'a de sens que considéré comme intégré dans l'entreprise. L'intégration consiste, en général, en une destruction des barrières organisationnelles de l'entreprise dans l'objectif d'améliorer la synergie de celle-ci pour que toutes les activités soient réalisées d'une façon plus productive et efficace [Vernadat 2002]. Dans ce sens, l'ingénierie système (IS), à travers la norme ISO/IEC 15288, classe le processus de management de la qualité comme un des processus d'entreprise cohabitant avec les processus de projet, processus contractuels et processus techniques [ISO/IEC15288 2002] (Figure 4).

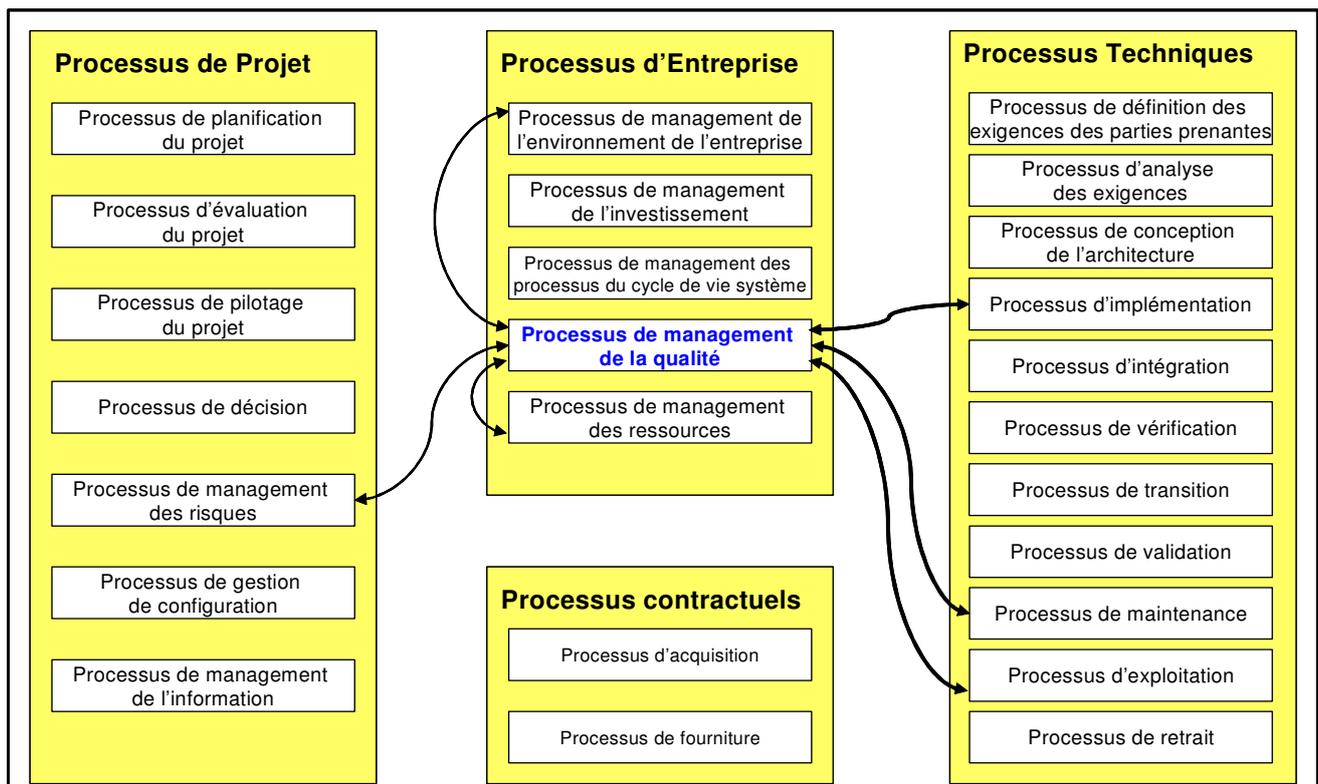


Figure 4. Positionnement du processus qualité selon la norme ISO/IEC 15288 d'ingénierie système [ISO/IEC15288 2002]

En Ingénierie Système l'objectif de ce processus est, premièrement, d'assurer que les produits, services et processus du cycle de vie d'un système satisfont les objectifs de qualité et, deuxièmement, d'améliorer la performance globale de l'entreprise en intégrant ce processus avec les autres processus.

Le processus qualité est ainsi défini en lien avec autres types de processus et ne peut donc pas être localisé ni dans une fonction particulière de l'entreprise ni même dans un seul niveau structurel [Lopez 2006].

V.1. Le processus qualité dans les différents niveaux structurels de l'entreprise

« Le processus qualité n'est pas exercé par un seul département dans l'entreprise, tous les départements et tous les employés qui le composent ont un rôle à jouer pour obtenir la qualité des produits et des services dans l'entreprise » [Gogue 2000]. Ainsi, le processus qualité est utilisable dans les différents niveaux structurels de l'entreprise avec l'objectif de réaliser des activités qualité précises. En ce sens ce processus peut se décliner sur les différents niveaux (Figure 5): stratégique, tactique et opérationnel [Marcotte 1995], [Gentil 2001], [Pujo 2002].

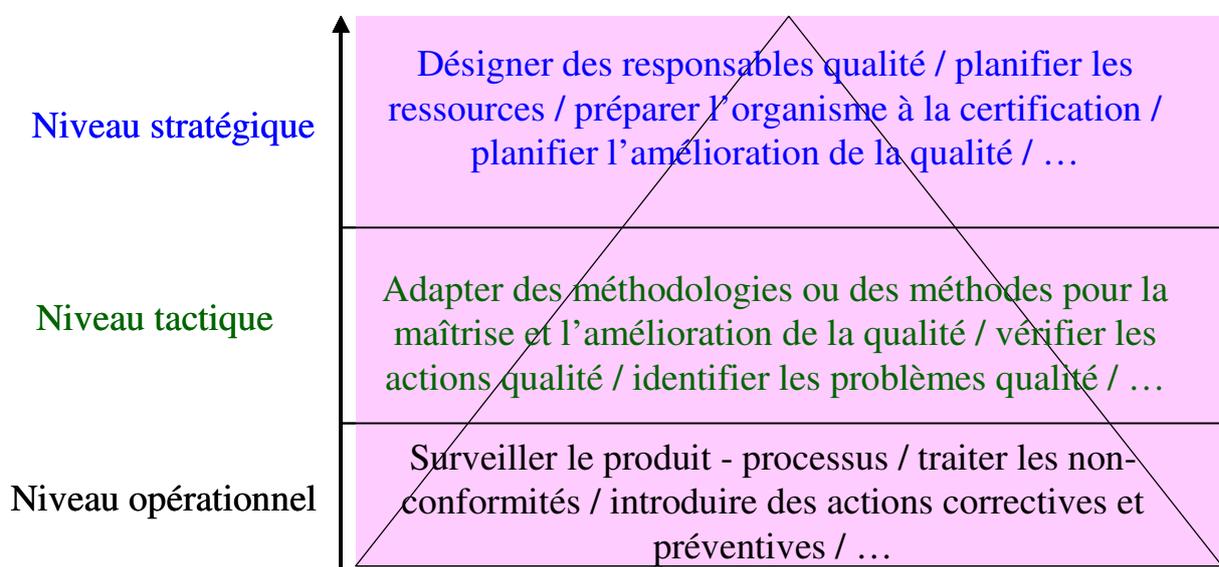


Figure 5. Les activités qualité dans les différents niveaux structurels de l'entreprise

[Marcotte 1995], [Gentil 2001], [Pujo 2002]

- Au niveau stratégique :

Ce niveau structurel de l'entreprise intègre des activités qualité relatives aux notions de planification de la qualité, de politique et d'objectifs qualité en entreprise. Il contient aussi toutes les activités qualité relatives à la certification selon la norme ISO9000. Le management de la qualité, à ce niveau, doit ainsi définir une politique qualité générale contenant des exigences internes relatives à la qualité des produits et un plan d'amélioration de la qualité. Le plan a pour finalité, d'une part, de préciser les points de contrôle des processus, en fonction de l'importance par rapport aux risques encourus notamment pour la qualité du produit ou du service, et d'autre part, de faire les bons choix concernant les méthodes et les outils qualité à utiliser et ainsi accompagner leur déploiement dans l'entreprise aux niveaux tactique et opérationnel. Ce plan de qualité est réalisé en collaboration (parallèlement) avec le plan de production, le plan de maintenance, ... qui intégreront les contraintes issues de cette activité.

Dans le même sens, la norme IEC62264, dans ses parties 1 et 2 [IEC62264-1 2003], [IEC62264-2 2004], montre que le rôle du processus qualité au niveau management ERP (Enterprise Resource Planning) consiste à définir les « bonnes » démarches à appliquer pour maintenir la qualité en relation avec les exigences de client depuis la conception du produit jusqu'à sa commercialisation et sa livraison.

- Au niveau tactique

Le processus qualité opère à ce niveau plus spécifiquement sur les processus de type techniques tels que la production et la maintenance. Ce processus englobe des activités qualité relatives aux notions de maîtrise et d'amélioration de la qualité. Le but du processus qualité, à ce niveau, est de maîtriser la qualité des produits et la qualité des processus de production au sens large. Les activités rattachées assurent la satisfaction aux exigences pour la qualité, l'identification des problèmes qualité, vérification des actions qualité, ...

En fonction des objectifs définis au niveau stratégique, la mise en place des moyens, parmi les méthodologies ou les approches utilisées, consiste à planifier les actions qui permettront de prévoir les activités qualité en fonction du plan d'amélioration qualité défini au niveau supérieur, et les activités de la maîtrise de la qualité prévues sur les processus au niveau inférieur. La gestion des produits et des ressources de la notion de qualité peut être ajustée suivant ce plan qualité. Cette planification des activités qualité doit être réalisée en cohérence avec le processus de production.

De son côté, la norme IEC62264, dans ses parties 3 et 4 [IEC62264-3 2007], montre que le rôle du processus qualité au niveau MES (Manufacturing Execution System) consiste aussi à

vérifier les actions qualité afin de garantir le respect des performances attendues du système de production et du produit. En effet, le processus qualité à ce niveau (tactique) réalise le lien entre le niveau stratégique et le niveau opérationnel afin de suivre, en temps réel, le déroulement de toutes les activités de production.

- Au niveau opérationnel

L'objectif du processus qualité à ce niveau est de mettre en place les activités et les moyens pour vérifier que les résultats des processus techniques sont conformes aux exigences spécifiées en terme de qualité. Il s'agit de réaliser la maîtrise de la qualité et de traiter les non-conformités rattachées au processus ou au produit lui-même. Ainsi, les activités qualité, à ce niveau, sont supportées par la mise en œuvre des méthodes et outils qualité. Ces méthodes et outils permettent la mise en place des actions correctives et préventives qui sont lancées conformément au plan qualité défini précédemment. Ces actions mènent à terme à des activités relatives à la notion d'amélioration de la qualité des produits fabriqués et de leurs processus de production. Certaines de ces activités sont intégrées dans la gamme de production, donc elles nécessitent bien sûr d'être cordonnées aux activités de production. Dans le même sens, la norme IEC62264, dans ses parties 3 et 4 [IEC62264-3 2007], montre que le processus qualité est théoriquement intégré au système de contrôle de production. Le rôle de la qualité à ce niveau de l'entreprise consiste à surveiller le produit/processus, exécuter la maîtrise et agir sur la non-conformité.

En conclusion, la qualité est appréhendée comme un processus qui s'intègre sur les différents niveaux structurels de l'entreprise. À chaque niveau structurel, ce processus réunit un ensemble d'activités qualité qui se réalisent soit dans la phase de conception de ce processus soit dans sa phase d'exploitation. Ces activités qualité sont supportées par la mise en œuvre des approches, méthodologies et méthodes qualité qui représentent, en générale, des moyens pour exploiter les activités.

V.2. Développement du processus qualité

Tous les processus à intégrer et à coordonner en entreprise doivent être modélisées dans une certaine mesure [Vernadat 1996]. La modélisation en entreprise est clairement un préalable pour l'intégration. Dans ce sens, l'intégration et le développement du processus qualité reposent sur une modélisation de ce processus à travers le déploiement des outils, méthodes,

méthodologies et approches qualité qui sont définis par [Foulquié 1982], [Defourny 1996], [Dale 1998], [Bechard 2001] comme:

- l'outil qualité : est un moyen ou un instrument conçu pour réaliser de façon efficace une tâche précise. Il permet de cibler et appuyer les activités d'amélioration et de changement. Dans cette catégorie, on retrouve entre autres les cartes de contrôle, l'analyse de Pareto...
- la méthode qualité : est un ensemble de règles et de principes conçus pour supporter des activités qualité précises. Toutefois, elle peut regrouper et structurer de façon logique un ensemble d'outils. Dans cette catégorie, on retrouve entre autres MSP, AMDEC...
- la méthodologie qualité (technique) : est un ensemble d'activités exécutés dans un certain ordre pour atteindre un objectif bien déterminé. Elle est souvent constituée de plusieurs méthodes ordonnées et structurées selon un ensemble de règles opératoires. Dans cette catégorie, on retrouve entre autres le QFD, le Six Sigma...
- l'approche qualité : est un ensemble de démarches qualité raisonnées permettant d'arriver à un résultat dans un contexte précis relatif à la qualité. Elle ne requiert pas nécessairement un algorithme rigoureux de mise en œuvre (TQM, ...).

Les différentes approches, méthodologies, méthodes/outils qualité supportent tout ou partie du processus qualité (des activités qualité) inhérent à un niveau ou à l'interconnexion entre niveaux. De plus, certaines de ces approches, méthodologies et méthodes/outils sont orientées pour supporter des activités utilisées plus en phase de conception qu'en phase d'exploitation et inversement.

Relativement aux besoins industriels origines de ces travaux, nous avons choisi d'illustrer ce constat méthodologique en présentant l'approche TQM. Le Management Total de la Qualité, traduction de l'anglais Total Quality Management (TQM), est une extension du concept de management de la qualité en intégrant la participation et la motivation de tous les membres d'une entreprise [Hansson 2001]. En effet, le TQM est une approche significative relativement aux challenges de l'intégration du processus qualité puisqu'il se positionne sur les différents niveaux structurels de l'entreprise [Rodney 2006], [Daniel 2006], [Bounds 1994]. De plus, le TQM se présente comme l'utilisation coordonnée d'un certain nombre d'activités de management, très axées sur la qualité. Ces activités sont liées aux notions de qualité telles que la planification de la qualité, la maîtrise de la qualité, l'amélioration de la qualité, ... Le TQM a pour objectif général de maîtriser et d'améliorer continûment la qualité du produit et la qualité de ses processus de production. Il a été défini

comme une approche qualité qui vise à maîtriser et améliorer la qualité en entreprise pour optimiser sa performance et satisfaire ses clients [Ahire 1995], [Shiba 1997], [Dreyfus 2004], [Chase 1998].

Le TQM est vu par [Shiba 1997], [Bunney 1997] comme un système qui englobe des outils, des méthodes et des techniques pour supporter l'amélioration continue et la satisfaction de client en entreprise. Cette vision est développée par [Hellsten 2000] qui a défini le TQM comme un système de management constitué de trois composants qui sont mutuellement dépendants: « core values », techniques et méthodes/outils qualité (Hellsten a modifié ultérieurement le terme technique par méthodologie [Palmberg 2005]) (Figure 6) :

- « core values » : ce sont normalement les éléments principaux de la philosophie de management de l'entreprise tels que les concepts d'amélioration continue, de maîtrise de la qualité, de leadership, ...
- méthodologie telles que : QFD, Six Sigma,...
- méthodes/outils tels que: AMDEC, MSP...

Dans cette vision du TQM, que nous adoptons dans cette thèse, les méthodologies et les outils/méthodes soutiennent donc les « core values » et les trois composants forment le système de management.

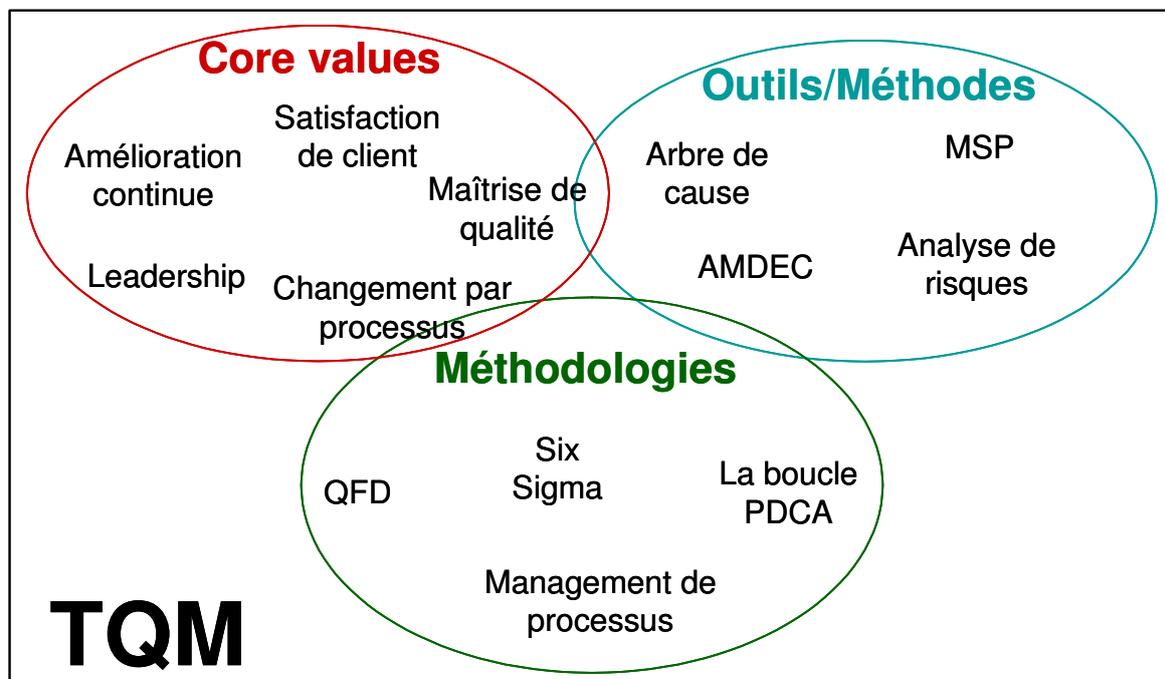


Figure 6. Le TQM comme un système de management [Hellsten 2000]

Les différentes méthodes et méthodologies qualité, incluses au sein du TQM, permettent de réaliser des activités qualité techniques et managériales (processus qualité) pour guider des actions coordonnées dans l'entreprise [Irani 2004]. Ces activités se déroulent dans la phase de conception et/ou dans la phase d'exploitation du processus qualité selon la méthode ou la méthodologie qualité utilisée. Par exemple la méthodologie QFD (Quality Function Deployment) est orientée conception plus qu'exploitation, en revanche, la méthodologie Six Sigma est orientée plus exploitation que conception.

Le TQM est donc un système de management qui se rapproche du système de management attendu par Alstom-Moteurs mais qui nécessite d'après [Juan 2004] encore des évolutions pour apporter une plus grande formalisation dans l'interdépendance entre les 3 composants pré-requis nécessaire à son déploiement logique et cohérent.

V.3. Synthèse

Le processus qualité est vu comme un des processus de l'entreprise qui se situe dans les différents niveaux structurels (opérationnel, tactique et stratégique). Ce processus qualité n'a de sens que considéré comme intégré avec les autres processus de l'entreprise. Ainsi la norme ISO/IEC 15288 (Ingénierie Système) classifie le processus qualité comme un des processus d'entreprise qui est lié aux autres processus. Dans le même sens, la norme IEC62264 dans ses différentes parties, a défini les flux d'informations échangés dans le niveau tactique, entre le processus qualité et d'autres processus tels que le processus maintenance, le processus production, ... L'intégration et l'exploitation du processus qualité sont supportées par la mise en œuvre des approches, méthodologies et méthodes qualité. Ces approches, méthodologies et méthodes/outils supportent des activités qualité en conception et en exploitation selon l'orientation de la méthodologie ou de la méthode choisie. Cependant ces méthodes et méthodologies sont souvent « informelles » car décrites sous une base textuelle ou graphique [Juan 2004].

Ainsi, le processus qualité doit être dorénavant structuré et positionné au sein de l'entreprise afin de contribuer efficacement à une amélioration de la performance globale de l'entreprise [Henry 1999]. Cette structuration du processus qualité passe par le positionnement de ce processus dans un cadre (architecture) de modélisation. Donc, dans la section suivante nous allons mettre en évidence des cadres de modélisation qui ont potentiellement un lien avec le processus qualité dans l'entreprise.

VI. Cadres de modélisation en entreprise et processus qualité

La modélisation du processus qualité est définie comme un moyen qui permet la formalisation et la structuration de la connaissance de ce processus en entreprise [Brane 2002], [Sangyoon 2004]. La modélisation en entreprise consiste à décrire l'organisation et les processus opérationnels (le processus qualité est un de ces processus) d'une entreprise dans le but d'intégrer ces processus, de les analyser et de les restructurer pour une amélioration de la performance globale de l'entreprise [Vernadat 1999a]. La modélisation s'appuie normalement sur des cadres, des méthodes et des outils supportant la modélisation des différents aspects de l'entreprise [Bernus 2003], [Bennour 2004], [Lamine 2001]. Les cadres permettent de structurer les différents processus, modèles, ... en entreprise selon différents points de vue et différents niveaux d'abstraction et de cheminer de façon cohérente entre ces points de vue et niveaux. Ils fédèrent les différents domaines et les différents points de vue de l'entreprise en un ensemble cohérent. Parmi les cadres les plus connus, dans lesquels le processus qualité a pu être étudié, nous pouvons citer CIMOSA (CIM Open System Architecture) [Amice 1993], GERAM (Generalized Enterprise Reference Architecture and Methodology) [IFAC 1997] et Zachman [Zachman 1987].

Nous avons retenu le cadre de modélisation Zachman pour structurer notre contribution au processus qualité au sein de l'environnement d'entreprise parce que ce cadre est utilisé aujourd'hui dans la majeure partie des travaux sur la modélisation des processus de l'entreprise. De plus, Zachman est un cadre qui est facile à utiliser et à comprendre. Il contient les visions données et traitement des modèles de l'entreprise. Zachman ne spécifie pas des modèles ni des méthodes pour traiter chacune des cases le composant. Ce cadre ne recommande pas l'utilisation de tel ou tel type de modélisation pour ces cases.

Le cadre de modélisation Zachman définit une matrice de 36 cellules (Figure 7) qui couvre les différentes problématiques de l'entreprise formulées de la façon suivante: En colonnes, les questions :

- « Quoi » : les données ou objets manipulés par une organisation (What),
- « Comment » : les processus permettant de manipuler les données et objets (How),

- « Où » : les endroits où se passe l'action (les processus, la direction des affaires, etc.) (Where),
- « Quand » : événements qui déclenchent des activités économiques (When),
- « Qui » : les gens et les organismes impliqués (Who),
- « Pourquoi » : les motivations qui déterminent le comportement des affaires (Why).

Ces questions génériques représentent les points fondamentaux à considérer durant le processus de développement d'un système ou d'un processus. Ils sont abordés selon cinq niveaux correspondant aux points de vue des différents acteurs impliqués. Dans ce modèle, des perspectives, rattachées aux niveaux stratégiques, métier, logique, technologique et technique. Elles décrivent respectivement les objectifs de l'organisation, ses processus métier et leurs relations, les fonctions que le système doit supporter, les spécifications techniques, et les composants déployés :

- Objectif (scope) : plans, objectifs et stratégie de l'organisation,
- Conceptuel (conceptual) : les modèles d'entreprise et les métiers qui agissent dans l'organisation,
- Logique (logical) : les modèles d'analyses fonctionnelle qui modélisent les processus métier,
- Technologique (physical) : les choix technologiques susceptibles de répondre aux enjeux métier,
- Détaillé : les composants de développement des applications,
- Exploitation (functioning enterprise) : les instances spécifiques à une application d'entreprise.

Ainsi, dans le cadre Zachman, le déplacement dans la même ligne de droite vers la gauche correspond à un affinement de la granularité du domaine étudié, par exemple : (Données ← Processus ← Site). De même un déplacement vertical, du haut vers le bas, correspond à un changement dans l'abstraction des éléments considérés.

	What (Data)	How (Function)	Where (Locations)	Who (People)	When (Time)	Why (Motivation)
Scope {contextual} Planner	List of things important to the business	List of processes that the business performs	List of locations in which the business operates	List of organizations important to the business	List of events/cycles important to the business	List of business goals/strategies
Enterprise Model {conceptual} Business Owner	e.g. Semantic Model	e.g. Business Process Model	e.g. Business Logistics System	e.g. Workflow Model	e.g. Master Schedule	e.g. Business Plan
System Model {logical} Designer	e.g. Logical Data Model	e.g. Application Architecture	e.g. Distributed System Architecture	e.g. Human Interface Architecture	e.g. Process Structure	e.g. Business Rule Model
Technology Model {physical} Implementer	e.g. Physical Data Model	e.g. System Design	e.g. Technology Architecture	e.g. Presentation Architecture	e.g. Control Structure	e.g. Rule Design
Detailed Representation {out-of-context} Subcontractor	e.g. Data Definition	e.g. Program	e.g. Network Architecture	e.g. Security Architecture	e.g. Timing Definition	e.g. Rule Definition
Functioning System	e.g. Data	e.g. Function	e.g. Network	e.g. Organization	e.g. Schedule	e.g. Strategy

Figure 7. Le cadre de modélisation Zachman [Sowa 1992]

VII. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons positionné les éléments clés relatifs au contexte global de notre thèse. Plusieurs définitions de la qualité ainsi que différentes notions de qualité dans le cadre de l'entreprise ont été abordées. Chaque notion de qualité est matérialisée par un ensemble d'activités qualité dont la réunion constitue le processus qualité. Le processus qualité est à considérer sur les niveaux stratégique, tactique et opérationnel dans l'entreprise. Cette intégration, selon les besoins industriels, est nécessaire entre les niveaux « qualité » pour faire du processus qualité un véritable processus au sens système. Relativement à cette intégration, et dans l'objectif de maîtriser et améliorer la qualité du produit et la qualité des processus de production, plusieurs méthodologies et méthodes qualité existent et supportent le processus qualité. Mais leur manque de formalisation nuit à l'efficacité et à l'efficience de leur utilisation.

En conclusion, les verrous industriels mis en évidence dans ce chapitre font référence à des verrous scientifiques majeurs relatifs à :

- l'intégration du processus qualité dans l'entreprise dans l'objectif d'améliorer la performance globale,
- la formalisation (modélisation) de ce processus qualité.

Dans notre contexte d'étude (principalement sur le niveau tactique en lien avec les 2 autres niveaux) l'objectif de cette intégration et formalisation du processus qualité est de maîtriser et d'améliorer la qualité du produit et la qualité de ses processus de production (de la conception à l'exploitation).

Ainsi, nous allons mettre en évidence dans le chapitre deux, différents travaux (état de l'art) relatifs aux verrous scientifiques cités précédemment et qui nous permettront dans le chapitre trois de justifier notre méthodologie.

Chapitre 2 : Modèles, méthodes et
méthodologies ... pour la formalisation et
l'intégration du processus qualité ...

I. Introduction

La qualité est appréhendée majoritairement comme un des processus en entreprise qui se décline sur les différents niveaux structurels: stratégique, tactique et opérationnel (Figure 5) et qui s'intègre nécessairement avec les autres processus (Figure 4) pour atteindre la performance globale.

Ainsi par rapport aux problématiques scientifiques concernant la modélisation et l'intégration du processus qualité en entreprise afin de mieux maîtriser conjointement la qualité de produit et la qualité de ses processus de production, ce chapitre dresse un état de l'art des principales contributions et travaux actuels. En ce sens, nous nous basons sur le cadre de référence introduit par [Lhoste 1994] pour positionner ces éléments recensés en utilisant plus spécifiquement comme référence les items Modèle, Méthode et Méthodologie (Figure 8).

Concept	Idée abstraite et générale.
Théorie	Ensemble de règles, de lois qui servent de base à une science et qui donnent l'explication d'un grand nombre de faits.
<i>Modèle</i>	<i>Approximation, vue partielle plus ou moins abstraite d'une partie du monde réel suivant un point de vue donné.</i>
<i>Méthode</i>	<i>Démarche raisonnée, suivie pour parvenir à un but.</i>
<i>Méthodologie</i>	<i>Ensemble cohérent de méthodes à mettre en œuvre, de manière coordonnée, pour atteindre un but complexe.</i>
Langage	Moyen de communiquer des pensées sur la base d'un système de signes.
Outil	Moyen d'action, de mise en œuvre.

Figure 8. Cadre de référence pour positionner la modélisation et l'intégration d'un processus
[Lhoste 1994]

II. Modèles pour le processus qualité et son intégration...

La plupart des démarches actuelles en qualité relatives à la maîtrise et à l'amélioration de la qualité du produit/processus déployées en entreprise sont basées sur la connaissance de l'ingénieur et/ou de l'opérateur, et donc souvent très empiriques en manquant fortement de formalisme [Bernard 2001], [Helen 2003]. Ce manque de formalisation est un véritable frein pour un déploiement efficace et efficient de la qualité [Pillet 1999]. Une voie à explorer est de se rapprocher des travaux autour de la formalisation des processus en modélisation d'entreprise [Amice 1993], [Vernadat 1996] où la modélisation d'un processus a déjà été abordée comme une solution pour améliorer la performance globale [Brane 2002]. Cette modélisation se base normalement sur une formalisation des objets et/ou des activités (traitements) supports de ce processus [Lamine 2001]. La modélisation s'attaque ainsi à la connaissance de ce processus, son comportement, ses activités, ses flux d'informations, ... [Vernadat 1996], [Vernadat 1999b], [Braesch 1995]. Souvent, cette modélisation s'effectue de manière à délivrer une représentation [Calvez 1992], [Franchini 1997], [GRP 1998] :

- qui soit graphique, de manière à appréhender plus facilement les interactions qui s'établissent entre les différentes activités,
- qui permette une compréhension logique et progressive de l'organisation,
- qui intègre une description des éléments classiques de caractérisation du processus (activités, entrées/sorties et ressources).

Nous exploitons dans la suite de ce chapitre cette vision de la modélisation d'un processus en entreprise pour recenser les travaux sur la modélisation et l'intégration du processus de qualité.

II.1. Modèles généraux des activités et des objets d'un processus qualité

A ce jour, très peu de travaux ont abordé la définition de modèles généraux et génériques du processus qualité permettant de formaliser réellement la connaissance qualité (à travers les activités concernées) selon différentes notions de qualité. Cependant [Sangyoon 2004] a

modélisé en 2004, un système d'information du management de qualité, basé sur la norme ISO9000:2000 et qui se nomme ISO9000 QMIS (Quality Management Information System). L'objectif du QMIS est d'améliorer le rendement du processus qualité dans un système qualité. Ce système est construit sur deux types de modèles. Premièrement, des modèles d'activités qui sont supportées par IDEF0 (Integrated Definition for Function 0) dans l'objectif de décrire et d'identifier les flux d'informations appropriées dans le système qualité proposé. Deuxièmement, des modèles de données, réalisés en UML (Unified Modeling Language) et qui sont relatifs à quelques informations qualité identifiées dans la norme ISO9000:2000 et à leurs relations (Figure 9). L'objectif final de ces modèles est de disposer des données nécessaires au QMIS via une base de données. QMIS est développé sous Microsoft Visual C++ et exploite d'autres technologies dans l'environnement de Windows pour créer l'interface de ce système (Active Server Page). Néanmoins, ce système ne met pas en évidence, à travers les modèles proposés, les différentes activités qualité correspondant aux différents niveaux structurels en entreprise et se focalise sur des activités qualité relatives au management de la qualité, dans le niveau stratégique, et beaucoup moins sur les autres types d'activités qualité telles que les activités de maîtrise et d'amélioration de la qualité.

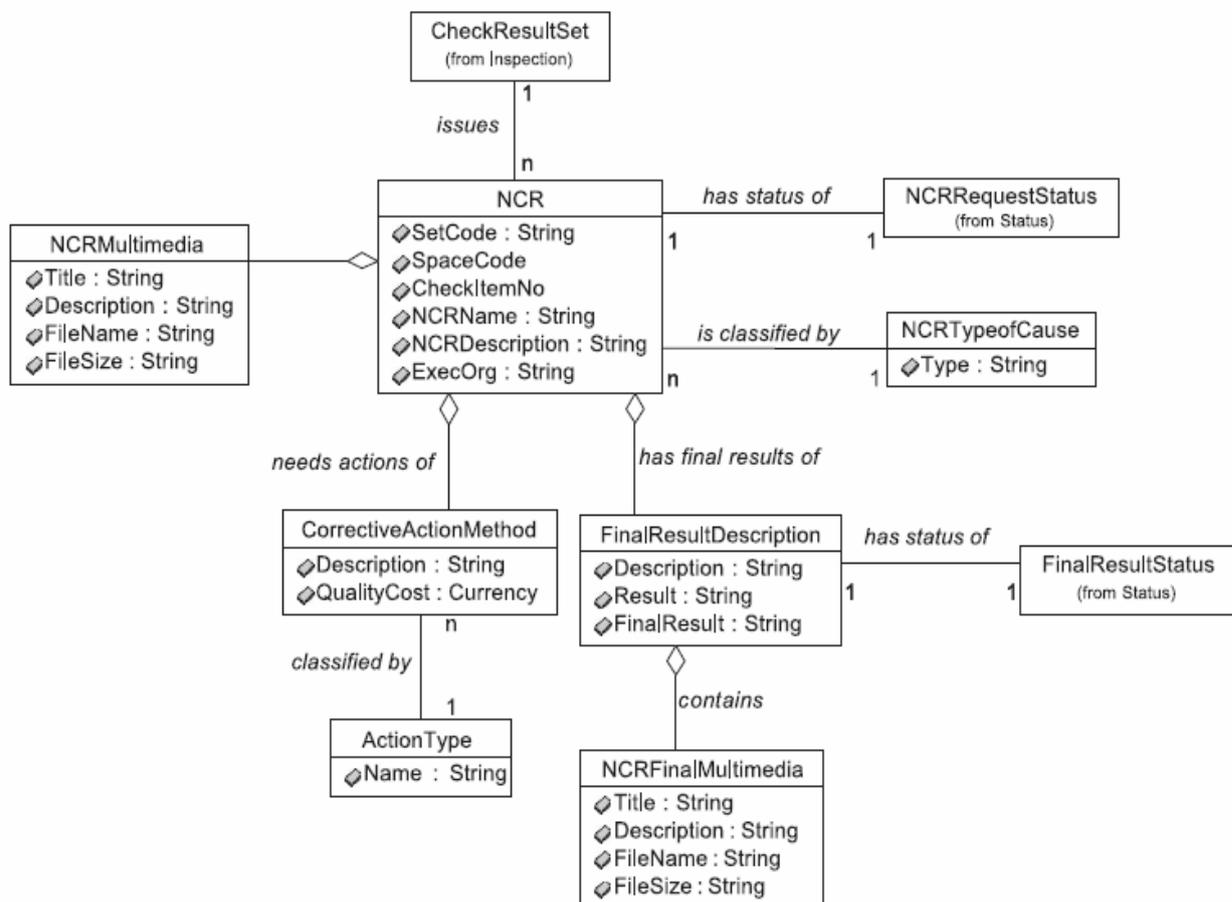


Figure 9. Un modèle de données du système qualité QMIS [Sangyoon 2004]

Dans un objectif très similaire [Meillier 1994] a proposé aussi la modélisation d'un système qualité pour identifier les activités qui concernent la maîtrise, l'amélioration et le diagnostic de la qualité. Cette modélisation repose sur OLYMPIOS (modèle de conception d'un système d'information orienté qualité en entreprise manufacturière) [Haurat 1993]. Ainsi, Meillier a amélioré OLYMPIOS pour l'utiliser dans le domaine de la qualité et il a donné une méthode de mise en œuvre pour optimiser la phase de captage de l'information et la phase d'exploitation de la modélisation obtenue. Cette modélisation est supportée par l'outil de modélisation SIFU (Systèmes d' Information Fournisseur/Utilisateur), en s'appuyant sur le concept de PDCA (Plan, Do, Check, Act), pour faire partie du STI (Système de Traitement de l'Information) en entreprise. Cette partie englobe les activités qualité de type maîtriser, améliorer et diagnostiquer la qualité. Donc les activités modélisées du système qualité sont intégrées au fonctionnement du STI pour enregistrer les informations qualité nécessaires dans ce système. L'idée générale repose sur le principe que si des dysfonctionnements se produisent et ont des effets importants, c'est que le système qualité n'a pas su empêcher leur occurrence, ni leur maîtrise. Pour cela, dans le cadre de ce système qualité, une méthode de diagnostic de qualité (QUALIDIAG) a été proposée afin de proposer des recommandations visant à améliorer la qualité.

Toutefois, la modélisation de ce système qualité est limitée au niveau opérationnel et ne propose pas une modélisation des concepts qualité de façon suffisamment précise pour atteindre les objectifs visés.

En conclusion, ces deux systèmes définis à travers des modèles dits généraux sont surtout utilisés soit en phase de conception soit en exploitation, d'un processus qualité, (mais pas dans les deux) et englobent des activités qualité d'un seul niveau structurel sans prendre en compte les autres niveaux en entreprise. Ils ne couvrent pas ainsi les activités et les objets nécessaires à l'intégration de la notion de qualité modélisée.

II.2. Modèles pour l'intégration du processus qualité

L'intégration du processus qualité avec les autres processus doit permettre de partager avec les autres processus d'entreprise, de façon logique et cohérente les « objets » qualité, nécessaires à l'obtention d'une performance globale de l'entreprise. La réalisation de cette intégration est basée sur l'analyse des flux (produit, informations, énergie,...) qui sont considérés comme un ensemble d'objets complexes en interaction avec leur

environnement [Neunreuther 1998]. Dans ce sens de l'intégration des processus en entreprise, [Vernadat 1996] a exposé deux principaux types d'intégration en entreprise :

- **l'intégration horizontale** : elle concerne l'intégration physique et logique des différents processus indépendamment des frontières organisationnelles en entreprise. Cette intégration est réalisée dans chaque niveau en entreprise. Elle concerne principalement les flux de matériels, d'information et des documents techniques.
- **l'intégration verticale** : elle concerne l'intégration entre les processus sur les différents niveaux en entreprise, où un niveau de management (stratégique) définit plusieurs contraintes pour les niveaux inférieurs (tactique et opérationnel) qui envoient à leur tour des informations de réactions à ce niveau supérieur de management. Ce type d'intégration concerne principalement le flux de décision et de commande.

II.2.1. Modèles généraux pour une intégration verticale et horizontale du processus qualité

Un support majeur à l'intégration à la fois verticale et horizontale du processus qualité en entreprise est la norme IEC 62264. Elle a pour rôle de définir le contenu de l'interface entre les différents niveaux structurels et aussi entre les différentes fonctions, relatives au contrôle de fabrication en entreprise. Dans l'objectif de supporter et clarifier cette interface (les flux d'information à échanger) cette norme propose plusieurs types de modèles : modèles de hiérarchie qui décrivent les niveaux de décision, modèles des objets et modèles d'activités.

Ces différents type de modèles aident à définir les limites de responsabilité et le contexte des informations qualité qui doivent être échangées, d'une part, entre les niveaux ERP (stratégique) et MES (tactique) « intégration verticale » et, d'autre part, entre les différentes fonctions (i.e. le management de la qualité est une de ces fonctions) dans le niveau MES (tactique) « intégration horizontale ». Cette norme se décompose ainsi de quatre parties :

Dans ces parties 1 & 2 [IEC62264-1 2003], [IEC62264-2 2004] la norme a introduit le processus qualité à travers la notion d'assurance de la qualité incluse dans la fonction management de la qualité. Dans ces deux parties, la norme modélise des concepts qualité sous la forme d'objets dans le modèle d'objet relatif au matériel (produit) (Figure 10). Ce modèle d'objets décrit la nature et le contenu des flux d'information (données) qualité circulant entre le système de pilotage de la production (tactique) et le système de gestion de l'entreprise (stratégique). Ainsi, la norme montre que le processus qualité s'intègre « verticalement » entre les niveaux stratégique et tactique en entreprise.

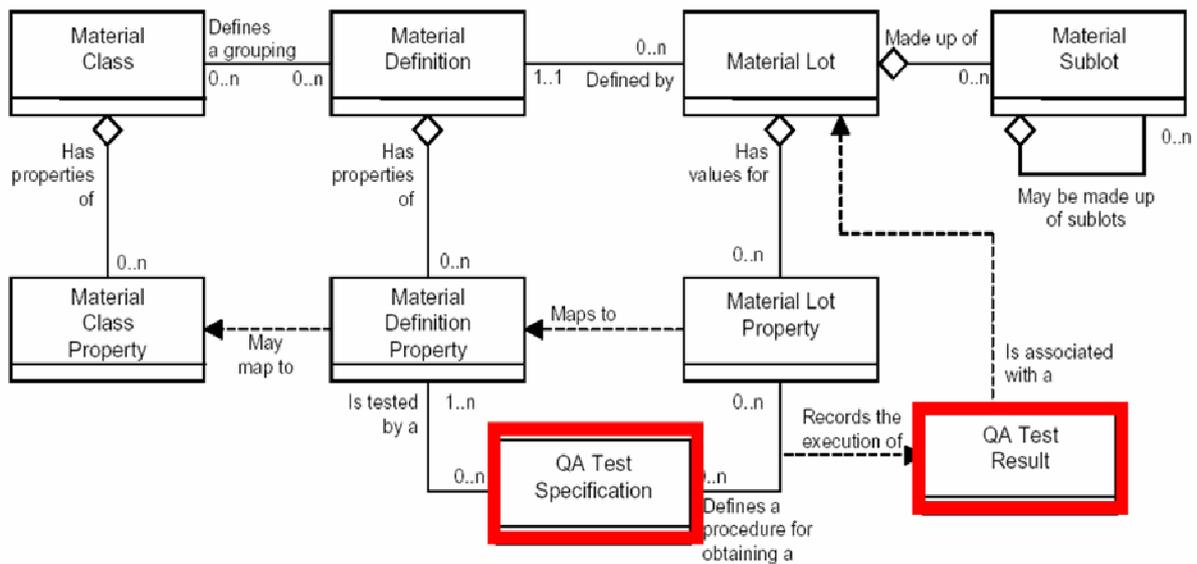


Figure 10. Le modèle des objets de matériel [IEC62264-1 2003]

Dans les parties 3 & 4, [IEC62264-3 2007] cette norme propose, à travers la fonction « management de la qualité », un modèle d'activités concernant un test qualité (Figure 11). Ce modèle d'activités permet de définir les flux d'informations à échanger entre les différentes activités qualité dans le cadre du test qualité à l'intérieur du niveau tactique (en horizontal), et les flux d'information qualité qui sont échangés avec d'autres niveaux structurels de l'entreprise (en vertical).

La norme définit aussi les flux d'information qualité échangés, à l'intérieur du niveau MES (tactique), entre la fonction management de la qualité et les autres fonctions comme les fonctions management de la maintenance, production, ... Dans ce sens, la norme montre que le processus qualité s'intègre « horizontalement » au niveau tactique en échangeant des informations avec des autres processus dans ce niveau.

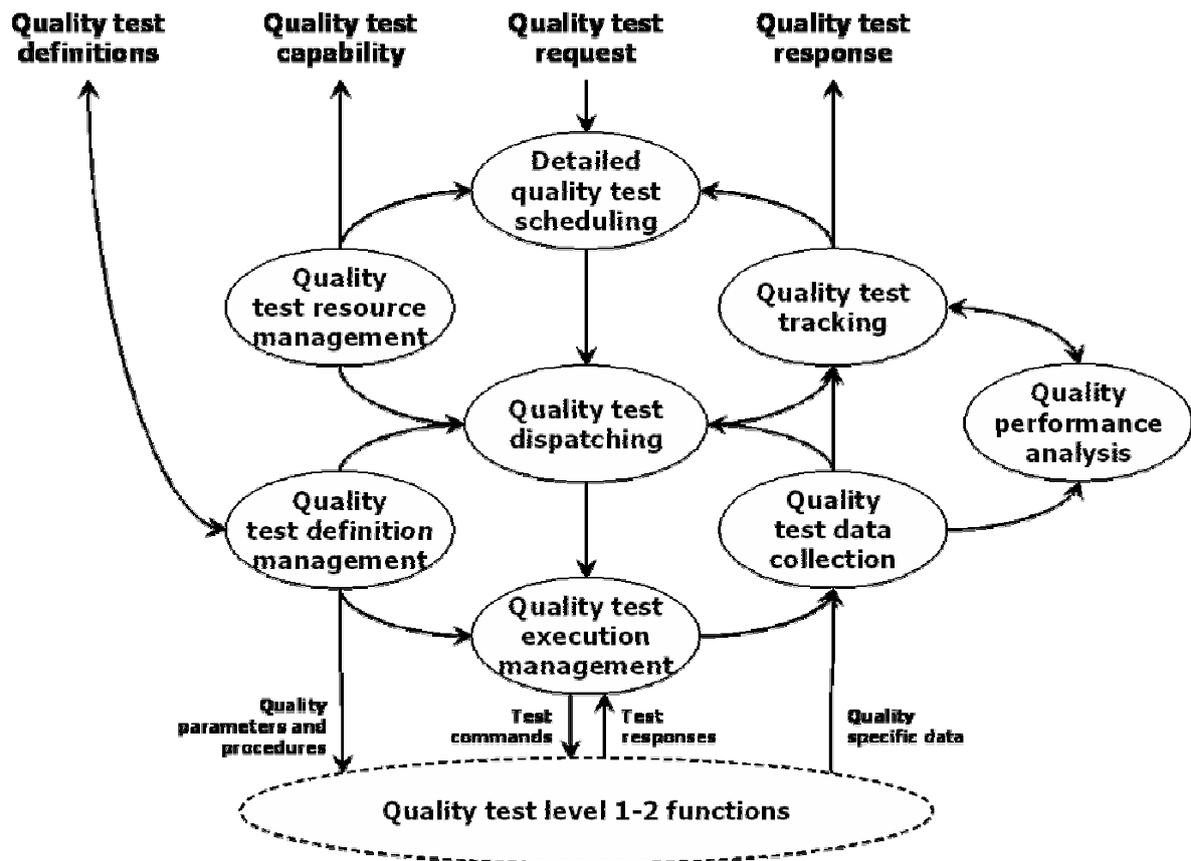


Figure 11. Le modèle d'activités de test qualité dans la fonction « management de la qualité »
[IEC62264-3 2007]

Au global, les modèles proposés par cette norme sont limités aux activités qualité de type management relatives au test qualité via la notion d'assurance qualité sans prendre en compte d'autres notions de qualité.

La Figure 12 met en évidence l'échange des informations entre les différentes fonctions disponibles dans le niveau tactique et aussi entre les niveaux tactique et stratégique (dans la figure, la ligne pointillée matérialise l'interface entre le niveau tactique et le niveau stratégique).

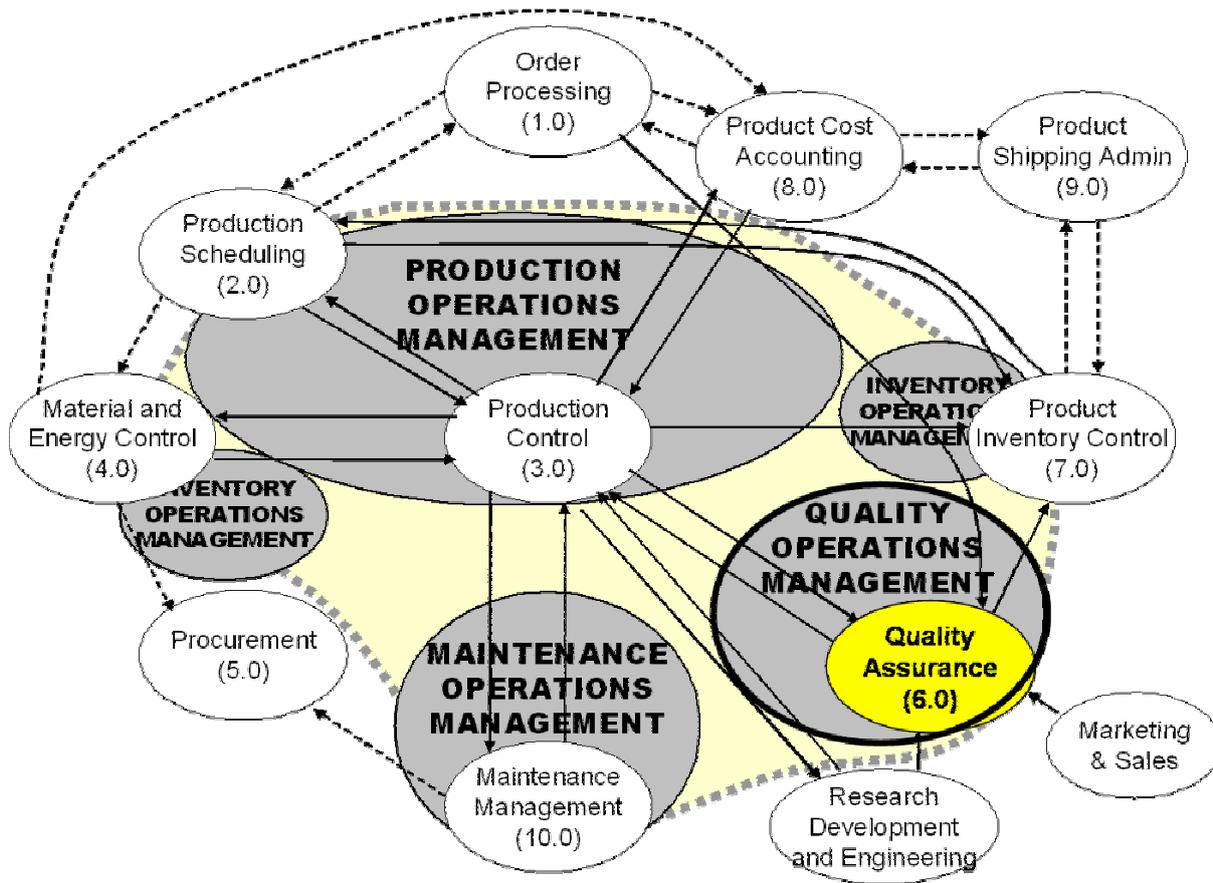


Figure 12. L'échange de l'information entre les différentes fonctions de l'entreprise selon la norme [IEC62264-1 2003]

II.2.2. Modèles particuliers pour une intégration horizontale du processus qualité: application à l'intégration qualité-maintenance

Pour illustrer de façon plus précise cette intégration de type horizontale, nous avons recensé des travaux sur l'intégration des processus maintenance–qualité qui peut être considérée comme symbiotique puisque ces deux processus doivent œuvrer de façon complémentaire dans l'objectif d'une maîtrise et amélioration conjointe des produits (qualité) et processus de production (maintenance) [Iung 2002]. En effet, pour garantir une qualité constante des produits fabriqués, il est nécessaire d'optimiser les paramètres des processus de production [Lérat-Pytlak 2002]. Cela requiert de l'entreprise de disposer d'indicateurs qualité permettant de juger si la maîtrise et l'amélioration de la qualité sont bien satisfaites. Un indicateur en dérive doit faire l'objet d'une analyse et, dans la mesure du possible, de la définition d'actions pour améliorer la situation. Un indicateur est un événement mesurable et déterminé par un

calcul qui identifie de façon qualitative ou quantitative une amélioration ou dégradation du comportement du procédé ou du processus soumis à examen [Zeghib 2004].

Ces indicateurs peuvent être directement identifiés à partir d'une problématique conjointe qualité – maintenance. Par exemple, [Cassady 2000] a effectué une recherche préliminaire concernant l'intérêt de l'intégration entre des activités de maintenance et des activités qualité issues de la méthode MSP (Maîtrise Statistique de Processus). En se basant sur ce travail, [Linderman 2005] a démontré la valeur ajoutée d'intégrer des activités qualité issues de la MSP avec des activités de maintenance pour réduire tous les coûts liés à ces deux processus. Ceci est réalisé en développant un modèle de surveillance-maintenance dans lequel est intégré des activités qualité issues de la MSP et des activités de la maintenance préventive calendaire. Dans ce modèle, la méthode MSP surveille l'équipement et fournit des signaux indiquant la détérioration de cet équipement, tandis que la maintenance planifiée est programmée à intervalles réguliers pour anticiper la panne de l'équipement. La détermination d'un processus instable, via la carte de contrôle, aboutit à une première maintenance préventive conditionnelle pour rétablir l'équipement. La Figure 13 illustre l'enchaînement temporel des événements qui décrit un scénario du modèle de surveillance – maintenance dans lequel sont enchaînées des activités qualité de la méthode MSP (carte de contrôle) et des activités maintenance. Cependant, cette approche est limitée aux activités issues de la méthode MSP et manipulées au niveau opérationnel de l'entreprise.

Dans une orientation complémentaire, [Yarlin 2006] a aussi étudié l'intégration entre des activités qualité (relatives à la maîtrise de la qualité du produit) avec des activités de maintenance de machine pendant un processus de production. Dans cet objectif, il a formulé un système (ensemble d'équations) qui permet d'intégrer les données concernant les dérives qualité de produit avec les données nécessaires pour maintenir les machines qui supportent la fabrication de ce produit. L'objectif de cette intégration est d'avoir conjointement une meilleure maintenance de chaque machine et une meilleure maîtrise de la qualité du produit à travers l'échange des données entre les deux. Néanmoins, ce travail s'est focalisé au niveau opérationnel de l'entreprise sans prendre en compte les activités qualité relatives à la maîtrise de la qualité du processus de production du produit.

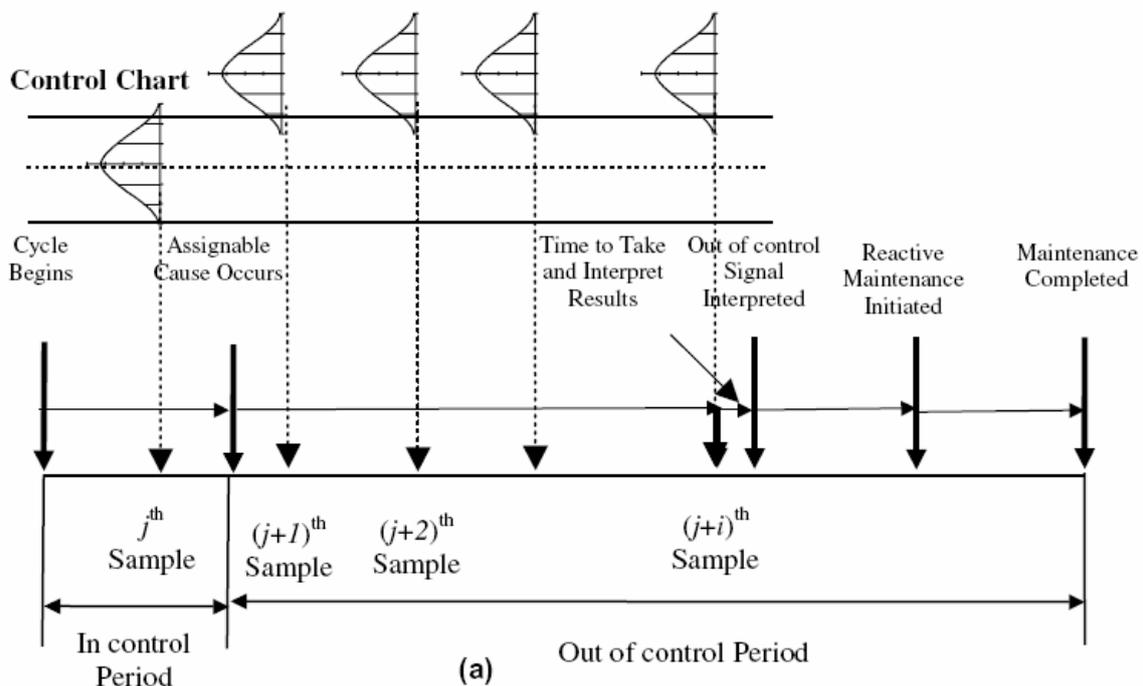


Figure 13. Le diagramme d'un scénario du modèle qualité-maintenance: état hors contrôle détecté [Linderman 2005]

II.2.3. Modèles particuliers pour une intégration horizontale et verticale du processus de qualité : l'approche ERP

En parallèle de la norme IEC62264 et en se basant sur des standards de faits (et non pas de consensus), les progiciels ERP (Enterprise Resource Planning) réalisent une intégration des informations en entreprise [Waldner 1992], [Loh 2004]. L'ERP est un système informatique d'intégration de l'entreprise. il permet de gérer l'ensemble des processus d'une entreprise, autour d'un système d'informations commun, intégrant l'ensemble de ses fonctions comme la gestion des ressources humaines, la gestion financière et comptable, l'aide à la décision, la production ... [Grant 2006]. Le principe fondateur d'un ERP est donc de construire des applications informatiques correspondant aux diverses fonctions citées précédemment de manière modulaire sachant que chaque module est supporté par un ensemble de données (objets) formalisées (base de données unique et commune au sens logique), et par un chaînage d'activités pour exploiter ces données. Les ERPs connus sont SAP, BaaN, Oracle

Applications, Adonix ... possédant pour certains des modules qualité (modèles des objets et des traitements d'une partie du processus qualité) intégrés dans la fonction « production » :

- module management de la Qualité « de JD Edwards EnterpriseOne (Applications Oracle) » qui offre une approche contrôlée et homogène du management de la qualité permettant d'identifier les défauts à la source.
- module « Quality Management » (de SAP et Adonix) qui est un système d'assurance qualité pour la logistique (Figure 14).

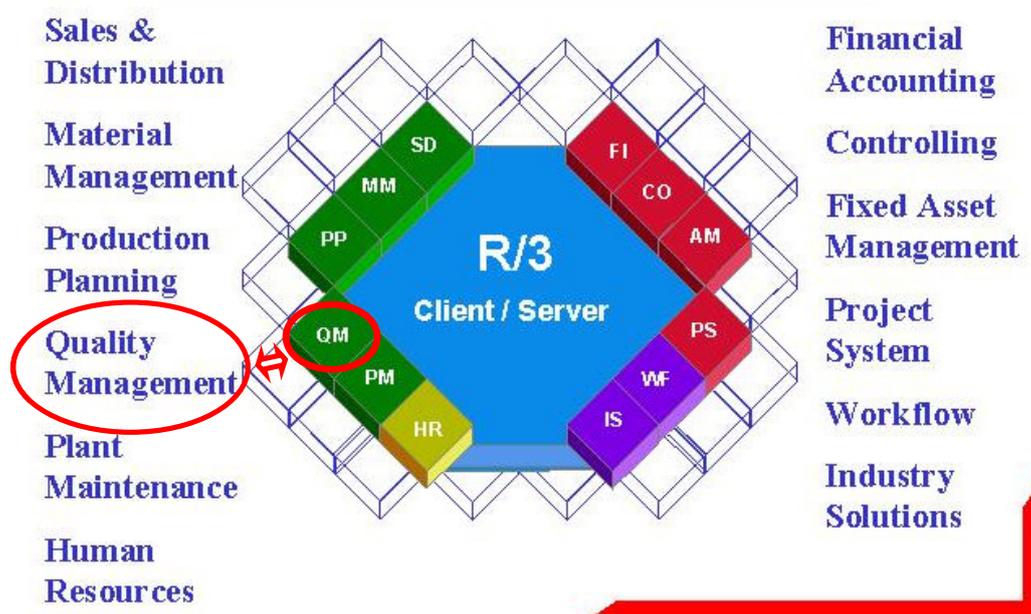


Figure 14. Positionnement du module « Quality management » dans le progiciel SAP

Les différents modules "qualité" qui existent dans les progiciels ERP sont limités aux activités qualité issues de la notion d'assurance de la qualité. Ainsi, ces modules ne prennent pas en compte d'autres types d'activités qualité relatives, par exemple, à la maîtrise et à l'amélioration de la qualité.

Dans le même objectif d'intégrer des activités qualité en entreprise, [Richard 1994] a proposé d'intégrer la boucle (PDCA) dans chacun des niveaux de fabrication (flexible) comprenant la conception du produit, la maintenance des moyens de production et plus spécifiquement dans le processus de production afin de réagir le plus tôt possible aux défauts (optimisation globale de la qualité de production). Pour aboutir à cet objectif, Richard a proposé une architecture de système manufacturé supportée par un système d'information qui permet d'intégrer les activités qualité du management de qualité sur cette architecture en cohérence avec le cadre

CIM (Computer Integrated Manufacturing). Ce système d'information est construit autour d'une base de données pour enregistrer toutes les données nécessaires aux activités qualité. Il permet une réaction directe en cas de faute en proposant une correction des tâches ou en reconsidérant le plan de fabrication local ou global. Ainsi, cette architecture permet d'échanger des informations verticalement sur les trois niveaux : stratégique, tactique et opérationnel en entreprise et aussi d'échanger des informations, horizontalement, entre le processus de production et les équipements de développement (Figure 15). Cependant ce travail s'est limité à proposer et exploiter des informations qualité disponibles dans le système d'information qualité sans proposer des modèles qui détaillent ces informations qualité et qui présentent formellement la relation entre ces différentes informations à chaque niveau structurel.

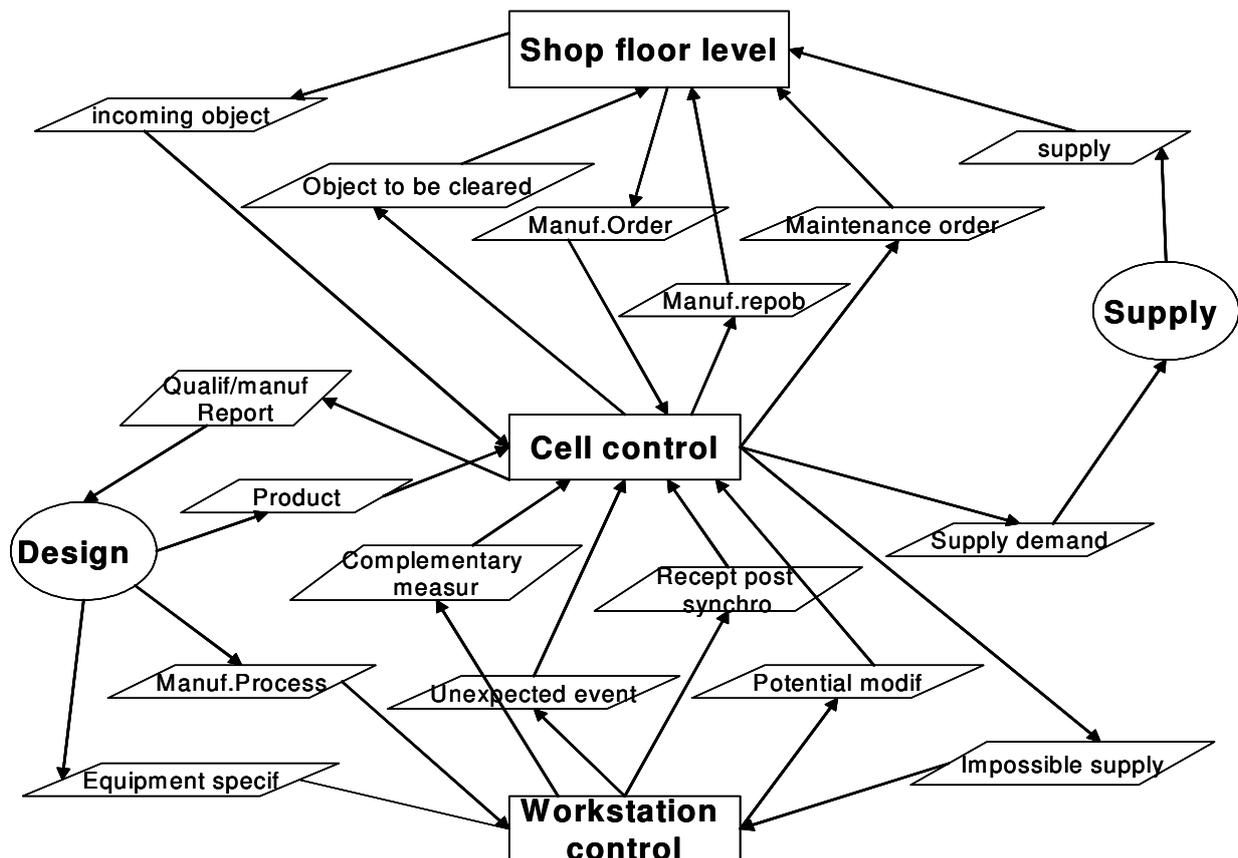


Figure 15. Modèle des flux d'informations échangées en entreprise manufacturière

[Richard 1994]

Dans une orientation complémentaire d'intégration, [Heredia 1996] a décrit la structure d'un cadre (Framework) pour intégrer les différentes activités qualité en entreprise (créer un

système qualité intégré). Il s'est basé sur IDEF0 pour définir les activités de ce cadre qui permet de fournir des informations et des outils appropriés pour coordonner les activités qualité relatives à un système de fabrication. Ce cadre englobe des activités de planification de la qualité, maîtrise de la qualité et amélioration de la qualité. Il permet aussi l'intégration de ces activités qualité avec d'autres activités relatives aux processus de maintenance, processus de production, ... de l'entreprise. Cette intégration des activités qualité se fait sur plusieurs axes :

- intégration de la connaissance relative aux activités qualité avec la connaissance du processus de production,
- intégration fonctionnelle externe de la qualité avec les sous-systèmes du CAD, CAM et CAPP,
- intégration fonctionnelle interne entre les différents sous-systèmes: audit qualité, amélioration et expériences, maintenance et calibrage et finalement le contrôle de la qualité,
- intégration verticale de la qualité structurée selon les trois niveaux structurels: niveau de management (stratégique), niveau de cellule (tactique) et niveau du poste de travail (opérationnel).

Ainsi, ce cadre permet de créer une structure générale qui organise les flux d'informations qualité sur plusieurs directions de l'entreprise (Figure 16). Cependant il ne propose pas une modélisation des concepts de la qualité pour chacun des niveaux ou pour chaque lien avec d'autres sous-systèmes. C'est-à-dire, il ne formalise pas les différentes activités qualité qui peuvent être utilisées à l'intérieur de chaque niveau structurel.

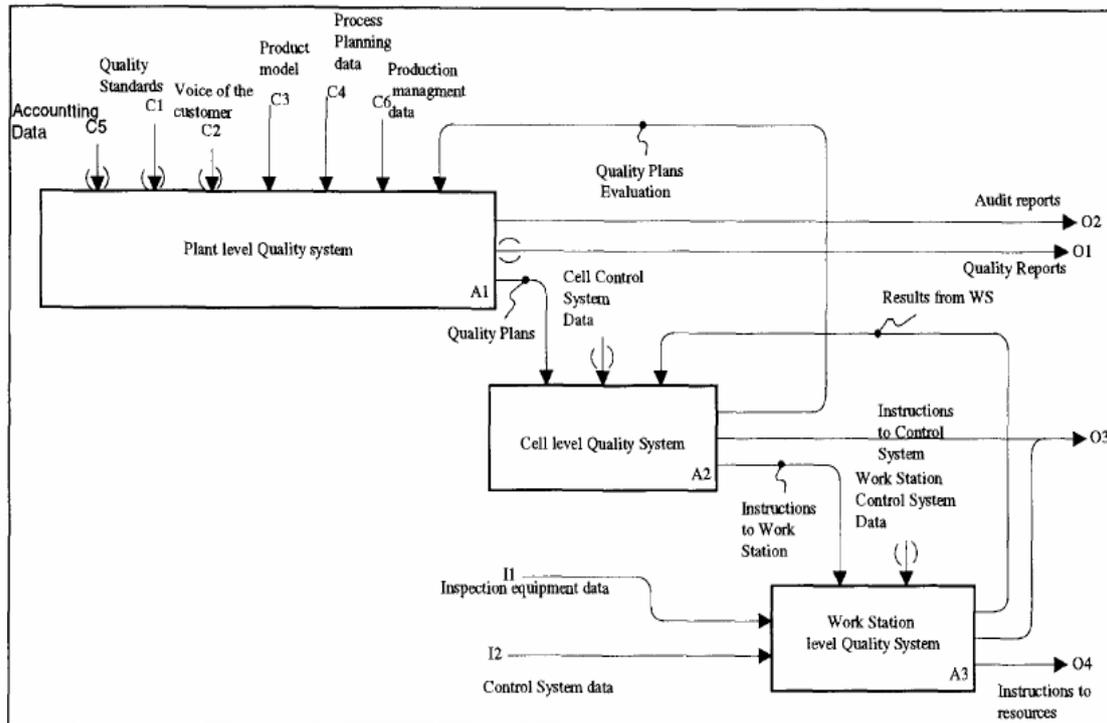


Figure 16. Diagramme d'activités montrant l'intégration verticale selon [Heredia 1996]

II.3. Modélisation du processus qualité au sein de cadres de modélisation

En complément à la vision modèle, l'intégration du processus qualité peut être perçue aussi au travers du positionnement du processus qualité au sein de cadre de modélisation. En effet, le cadre de modélisation est un moyen pour supporter et pour guider l'intégration et la structuration des différents modèles et processus dans l'entreprise. Il fédère les différents domaines et les différents points de vue de l'entreprise en un ensemble cohérent et intégré (il accueille des modèles en cherchant le meilleur schéma pour les intégrer). Quelques cadres de modélisation ont été introduits au chapitre I. Par rapport à la problématique de performance globale, fil conducteur de ces travaux, il est nécessaire que ces cadres proposent aussi concrètement pour les entreprises des méthodes, des modèles, des outils pour représenter la notion de qualité [Pillet 1993]. Des travaux existent, en ce sens, qui proposent des modèles de processus basés sur les exigences des normes ISO9000:1994. Ces modèles permettent d'intégrer les données relatives au management de la qualité au niveau de l'entreprise en général et donc la mise en oeuvre, l'utilisation et la maintenance d'un système de management de la qualité au sens des normes ISO9000:1994. Lorsqu'ils sont connectés au modèle global de l'entreprise, ces modèles gèrent le système documentaire qualité. Ces

modèles ont été réalisés avec le langage de modélisation IEM (Integrated Enterprise Modelling) [Spur 1996] qui permet de modéliser les aspects fonctionnels grâce à un modèle générique d'activités et les aspects informationnels grâce à des objets appartenant à une des trois classes génériques Produit, Ressource, Ordre [Mertins 1999]. Dans le même but des travaux ont été menés avec le cadre CIMOSA pour fournir un modèle de processus permettant la mise en oeuvre, l'utilisation et la maintenance d'un système de management de la qualité au niveau de l'entreprise en général qui réponde aux exigences des normes ISO9000 version 1994. L'application de ce modèle facilite le management du système documentaire de la qualité [Kosanke 1997]. Ce modèle vient donc s'ajouter au cadre de modélisation d'entreprise CIMOSA.

Sur un point de vue décisionnel, [Marcotte 1995] a proposé de compléter la grille GRAI avec une fonction supplémentaire qui est « gérer la qualité ». Cette fonction propose une structure particulière des activités qualité dans la grille GRAI (Figure 17). Cette structure montre que le pilotage des activités qualité est directement contraint par les propriétés temporelles du processus de production. L'objectif principal de cette contribution est de répondre à la difficulté de caractériser la qualité sous ses différents points de vue en entreprise. Ainsi, à partir des concepts du modèle GRAI et à travers la fonction « gérer la qualité », Marcotte a défini et séparé les différentes activités qualité dans les niveaux structurels de l'entreprise. Ces activités qualité sont liées à la gestion des produits pour que ces activités modifient des propriétés du produit. Cette structure décisionnelle de la qualité permet de gérer la qualité dans le temps et de prendre en compte ainsi son évolution dynamique.

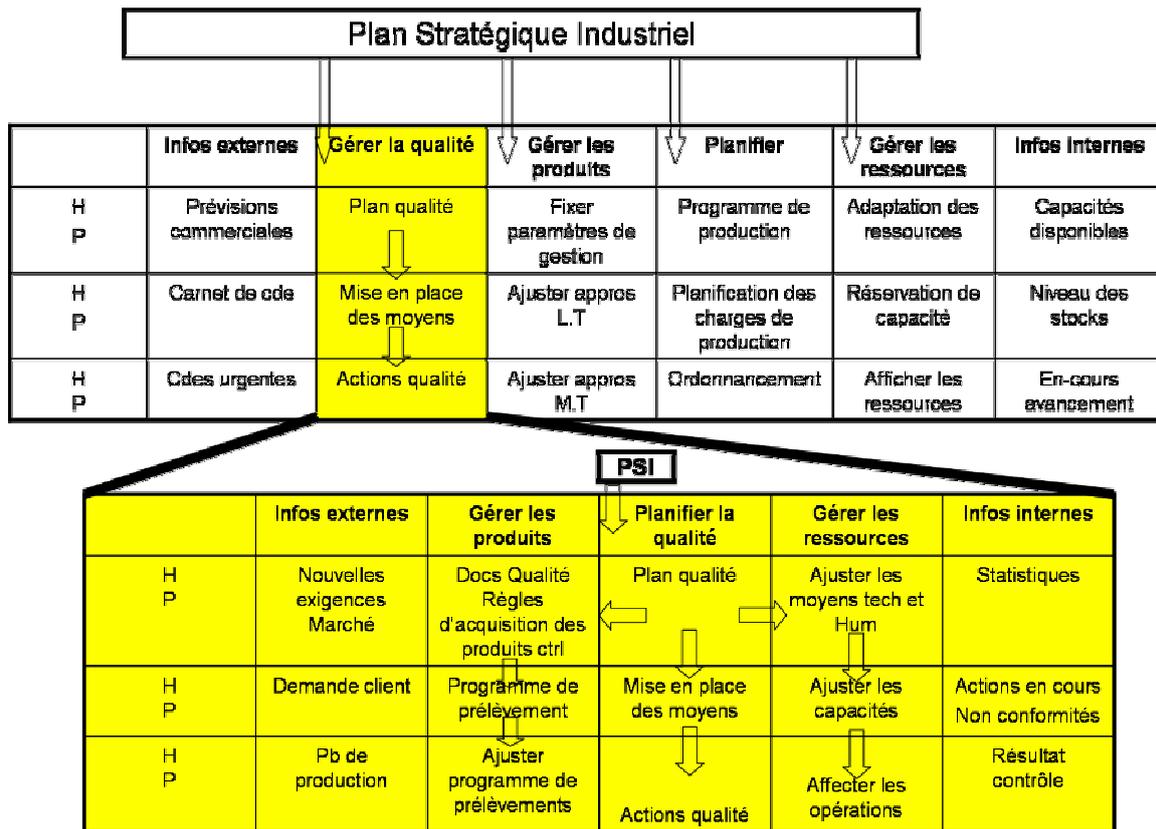


Figure 17. Structure particulière des activités qualité dans la grille GRAI [Marcotte 1995]

II.4. Synthèse

Relativement à l'axe Modèles du cadre de référence introduit par [Lhoste 94], des contributions à la fois académiques et industrielles ont permis de proposer des modèles généraux et génériques du processus de qualité. Certains de ces modèles sont même normés à travers l'IEC62264. Ils formalisent soit la connaissance interne du processus nécessaire à son bon fonctionnement, soit la connaissance externe nécessaire à son intégration. Cependant ces modèles sont encore peu nombreux et « leur couverture » du processus qualité reste trop restreinte pour atteindre l'objectif d'une maîtrise et d'une amélioration conjointe du produit et de ses processus de production. La Figure 18 synthétise les différentes propositions présentées dans la deuxième partie de ce chapitre. En effet, les modèles proposés n'englobent pas toutes les activités requises pour atteindre cet objectif à la fois en phase de conception et d'exploitation. Sur l'aspect intégration, les modèles proposés traitent de l'intégration du processus qualité soit à un seul niveau seulement (horizontalité) sans prendre en compte son intégration avec les autres niveaux, soit en lien avec différents niveaux mais sans formaliser cette logique d'intégration. En pratique, cette intégration n'est pas appliquée parce que la plupart des entreprises exploitent chaque niveau de décision de manière indépendante. Ainsi cette intégration peut être aussi investiguée et réalisée à travers des méthodes et des

méthodologies qui vont se chaîner pour apporter le niveau de maîtrise et d'amélioration demandé.

Modèles généraux des activités et des objets d'un processus qualité		Modèles généraux pour une intégration verticale et horizontale		Modèles particuliers pour une intégration horizontale et verticale	
<i>Contribution</i>	<i>Limites</i>	<i>Contribution</i>	<i>Limites</i>	<i>Contribution</i>	<i>Limites</i>
[Sangyoon 2004] : a modélisé un système d'information du management de qualité, basé sur la norme ISO9000:2000	- Sont utilisés soit en phase de conception soit en exploitation - Englobent des activités qualité d'un seul niveau structurel sans prendre en compte les autres niveaux - Ne proposent pas une modélisation	[IEC62264-1 2003], [IEC62264-2 2004] modélise des concepts qualité sous la forme d'objets dans le modèle d'objets relatifs au matériel (intégration verticale)	Les modèles proposés sont limités aux activités qualité de type management relatives au test qualité via la notion	[Linderman 2005] et [Yarlin 2006] : intégration horizontale du processus qualité avec le processus maintenance	- Se focalisent sur des activités au niveau opérationnel - Se focalisent soit sur la qualité du produit soit sur la qualité de processus de production (pas les deux ensemble)
[Meillier 1994] : a proposé la modélisation d'un système qualité pour identifier les activités qui concernent la maîtrise, l'amélioration et le diagnostic de la qualité. Cette modélisation repose sur OLYMPIOS	des concepts qualité de façon suffisamment précise pour atteindre les objectifs visés	[IEC62264-3 2003] propose un modèle d'activités qui supporte l'intégration horizontale et verticale d'un processus qualité	d'assurance qualité sans prendre en compte d'autres notions de qualité	les progiciels ERP : possèdent certains modules qualité (modèles des objets et des traitements)	limités aux activités qualité issues de la notion d'assurance de la qualité.
				[Richard 1994] a proposé une architecture de système manufacturé qui permet d'intégrer les activités qualité (horizontalement et verticalement)	ne propose pas des modèles qui détaillent les activités qualité à chaque niveau structurel.
				[Heredia 1996] : a décrit la structure d'un cadre (Framework) pour intégrer les activités qualité en entreprise sur les différents axes	ne détaille pas les activités qualité qui peuvent être utilisées à l'intérieur de chaque niveau ou entre les niveaux

Figure 18. Classification des propositions majeures concernant les modèles pour le processus qualité et son intégration

III. Méthodes et Méthodologies pour le développement et l'intégration du processus qualité

Dans l'objectif de maîtriser et d'améliorer la qualité du produit ou du processus de production support, plusieurs méthodologies et méthodes ont déjà été utilisées telles que le TQM, Six Sigma, QFD, AMDEC, MSP, plans d'expérience, Automatic process control (APC), Engineering Process Control (EPC), ... [Hongen 1995], [Klefsjö 2001], [Buglione 2001], [Johnson 2003]. Cependant, ces méthodologies et méthodes permettent difficilement de maîtriser et d'améliorer simultanément la qualité du produit et la qualité des processus de production mis en œuvre [Ettlie1994]. De plus, la plupart de ces méthodologies sont applicables dans la phase de conception ou dans la phase d'exploitation [Young 2006] mais peu d'entre elles, à part le QFD et le Six sigma, le sont en conception et en exploitation [John 2000]. En effet, le déploiement de chacune d'entre elles se base sur une technique ou un mécanisme spécifique. Par exemple, le QFD se base sur l'utilisation d'un mécanisme (modèle) connu sous le nom de « la maison de la qualité » HOQ (matrice de "Quoi - comment") [Akao 1990] (Figure 19). L'exploitation du six sigma se base aussi sur deux sous-méthodologies [Breyfogle 2003], [Pillet 2004] : DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control) et DMADV (DFSS) (Define, Measure, Analyze, Design, Verify).

De plus, ces différentes méthodes et méthodologies, préalablement introduites, sont souvent « informelles » car décrites sous une base textuelle ou graphique [Juan 2004] et possèdent peu de modèles sur lesquels elles peuvent se baser dans un souci de cohérence et de réutilisabilité.

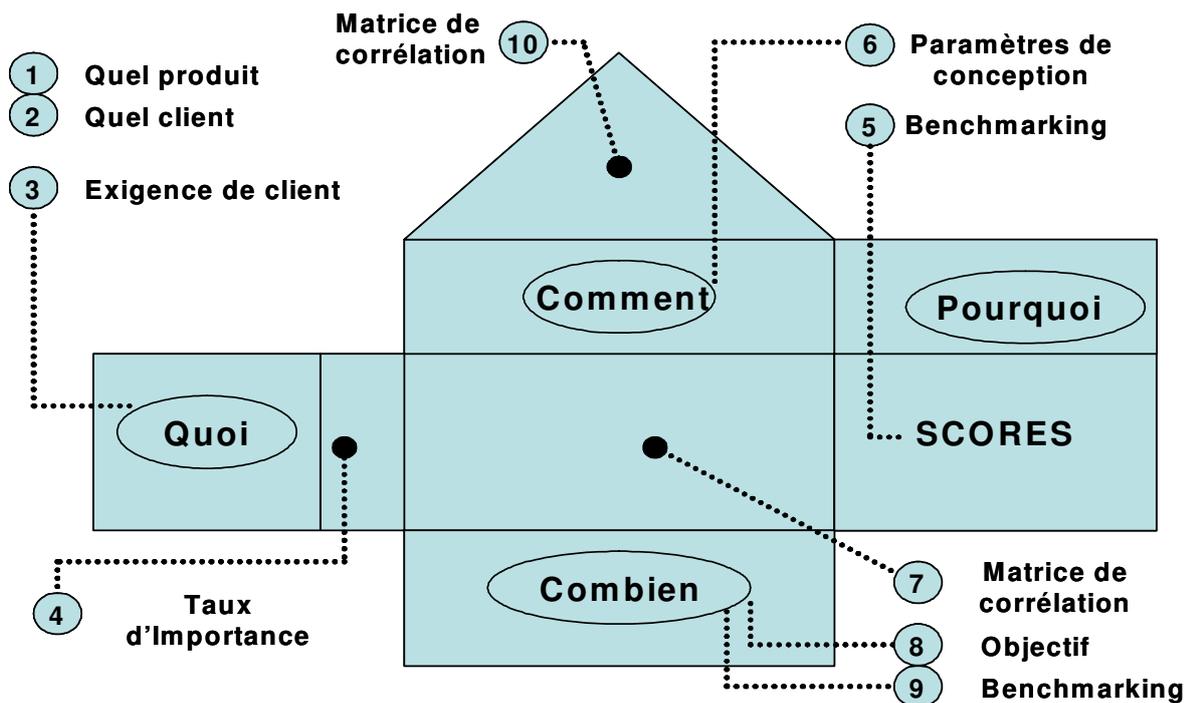


Figure 19. Les étapes de construction de la maison de la qualité [Akao 1990]

Ce manque de formalisation est d'autant plus vrai pour le TQM qui est vu comme un système de management qui supporte la maîtrise et l'amélioration de la qualité. L'importance du TQM a considérablement augmenté au cours des dernières années [Juan 2004], [Hansson 2003] car il permet normalement de réduire la variabilité de performance et d'augmenter la stabilité des processus de production et aussi celle des produits [Tummala 1996]. Il présente un intérêt particulier puisqu'il permet d'intégrer, au sein des composantes, plusieurs méthodes et méthodologies qualité qui devraient supporter conjointement (en terme de perspective) la maîtrise et l'amélioration de la qualité du produit/processus [Stefan 2006], [Juan 2005], [Joo 2006].

Comme introduit au chapitre I (§ V.2), [Hellsten 2000] a défini le TQM comme un système de management constitué de trois composants qui sont mutuellement dépendants: « core values », méthodologies et méthodes/outils. Cette définition a servi de base à de nombreux travaux tels que [Hansson 2001], [Eriksson 2004], [Palmberg 2005], [Svensson 2006]. Parmi les trois composants du TQM, certains « core values » (maîtrise la qualité, amélioration continue, satisfaction de client, leadership,...) et plusieurs méthodologies et méthodes/outils qualité (SPC, Poka-yoké, benchmarking, diagramme de Pareto, AMDEC, Six Sigma...) ont déjà été exploités à travers les travaux de [Dale 1998], [Evans 1999], [Sila 2002], [Stefan 2006], [Bayazit 2007].

Selon [Hellsten 2000], l'implémentation du TQM devrait commencer par la détermination du « core values » à satisfaire, puis l'identification et l'utilisation des méthodologies qui soutiennent ce « core value », et finalement, l'exploitation d'une manière efficace des méthodes/outils afin de soutenir les méthodologies choisies. Cette implantation du TQM permet d'améliorer normalement la performance globale de l'entreprise [Joo 2006], [Jaideep 2001]. Plusieurs difficultés ont émergé lors de cette implantation dont un obstacle majeur relatif à la définition et modélisation explicite de la relation entre les trois composants du TQM [Flynn 1994], [Ravichandran 2000]. En effet, peu de travaux ont traité ce problème car la plupart se sont concentrés sur la proposition de modèles qui s'englobent ces trois composants du TQM mais sans prendre en compte leur interdépendance [Flynn 1994], [Anderson 1995], [Samson 1999], [Wilson 2000]. Ainsi, [Sanjay 2001], [Juan 2004] ont mis en évidence la nécessité de clarifier et de déterminer sans ambiguïté les relations parmi les différents composants du TQM (i.e. quelles méthodologies, quels méthodes/outils à choisir pour supporter le « core value choisi » ?) afin de pallier au manque de formalisation [Evans 1997], [Eriksson 2004].

En résumé, dans le cadre du TQM, une méthodologie (formalisée) qualité est nécessaire, d'une part, pour mieux maîtriser et améliorer conjointement la qualité de produit et la qualité de ses processus de production de la conception jusqu'à l'exploitation, et d'autre part, pour aider à réaliser l'interdépendance entre les trois composants du TQM.

Dans le même objectif de maîtrise et d'amélioration, plusieurs autres méthodologies qui se basent sur un enchaînement d'activités qualité ont été proposées. Dans ce sens, [Babus 2005] a souligné la nécessité d'élaborer une méthodologie commune qui combine la technique de APC (Automatic process control) avec la MSP afin d'obtenir des produits de meilleure qualité par une maîtrise et une réduction de la variabilité du processus. Cette démarche a déjà fait aussi l'objet des travaux de [Elsayed 1995], [Carr 1999], [Gultekin 2002], [Duffuaa 2004] qui appliquent premièrement des techniques d'APC pour contrôler les relations entre les entrées et les sorties de processus, puis les techniques de MSP pour faire des prévisions en essayant de tenir le processus sous maîtrise en identifiant les causes de variations (Figure 20).

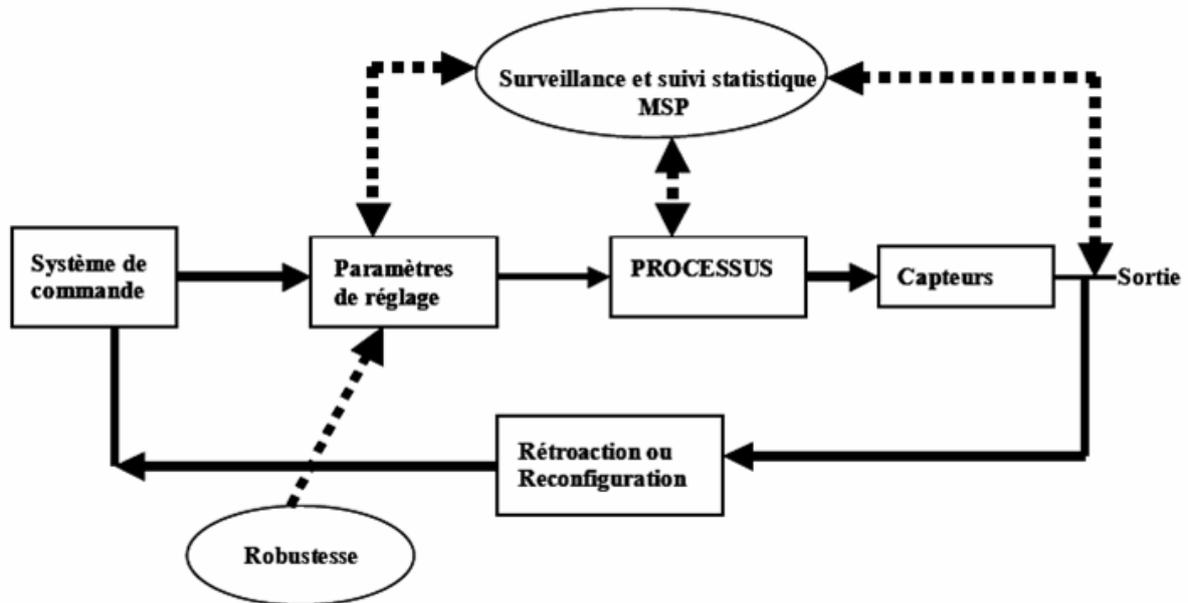


Figure 20. Combinaison entre le MSP et l'APC [Babus 2005]

Dans le même sens, [Werner 2001] est allé un peu plus loin en intégrant la technique TPM (Total Productive Maintenance) avec les MSP et APC. Pour réaliser cette intégration, il a proposé une méthodologie qualité, basée sur l'exploitation d'un tableau de la maîtrise du processus. Cette méthodologie structure les différents domaines de maîtrise du processus en traçant les maîtrises d'un processus sur deux dimensions (Figure 21):

- sur l'axe horizontal: le but ou la fonction d'une maîtrise,
- sur l'axe vertical: l'endroit dans le processus où les mesures de maîtrise sont prises.

Cette méthodologie fournit une structure pour obtenir une vue d'ensemble des fonctions de la maîtrise et de leurs interdépendances en montrant qu'il n'y a pas une seule meilleure manière de maîtriser un processus.

En résumé, cette utilisation conjointe de MSP, APC ou TPM, ... est focalisée sur la maîtrise du processus de production sans prendre en compte la maîtrise de la qualité de produit lui-même. En plus ce type d'utilisation conjointe des méthodes est exploitable dans le niveau opérationnel en entreprise et surtout dans la phase d'exploitation de ces activités qualité.

Measurement point ↓	Functions ▼										
	material	machine	tools	environ-ment	human factors	measure-ment tools	settings controllable	process param.	output control	product assurance	perf meas analyses
material	incoming inspection (s/a)				Poka Yoke (m)		APC (a) Cont.Ch. (s)				
machine		preventive maintenance (t)									
tools			preventive maintenance (t)								
environment				condition monitoring (a)							
human factors					training (m)						
measuring tools						R&R (s)					
settings controllable							instruction (t)				
process parameters	limit switch (a)						APC (a) contr.ch. (s)		control charts (s)		
output on-line	OCAP (s)	corrective (t) maintenance OCAP (s)	corrective (t) maintenance OCAP (s)	OCAP (s)	OCAP (s)	differecnee charts (s) OCAP (s)	APC (a) OCAP (s)		control charts (s) APC (a)	100% check APC (a)	
output off-line										PCS (s) sampling (m)	OEE TPM (t)
time on-line											
time off-line											OEE TPM (t)

Figure 21. Le tableau intégré de la maîtrise du processus : (s)= MSP, (T)= TPM, (a)= APC [Werner 2001]

[Ament 2001], de son coté, a constaté que pour garantir une qualité constante des produits et des processus, il est nécessaire d’optimiser les paramètres des processus de production dès qu’on observe des déviations de la qualité de produit. Pour cela, il a proposé une démarche basée sur la MSP (déviations de la qualité) et l’AMDEC (analyse en différé) qui développe une maîtrise automatique de la qualité orientée par processus (Figure 22). Cette approche est composée en deux étapes: un contrôleur local de qualité stabilise la qualité du produit aux valeurs de référence puis un échange de l’information entre les contrôleurs locaux est établi en parallèle à l’écoulement des produits afin d’obtenir un processus global optimisé.

Cette démarche est limitée aux activités manipulées au niveau opérationnel en lien avec la machine directement et utilisable en exploitation seulement.

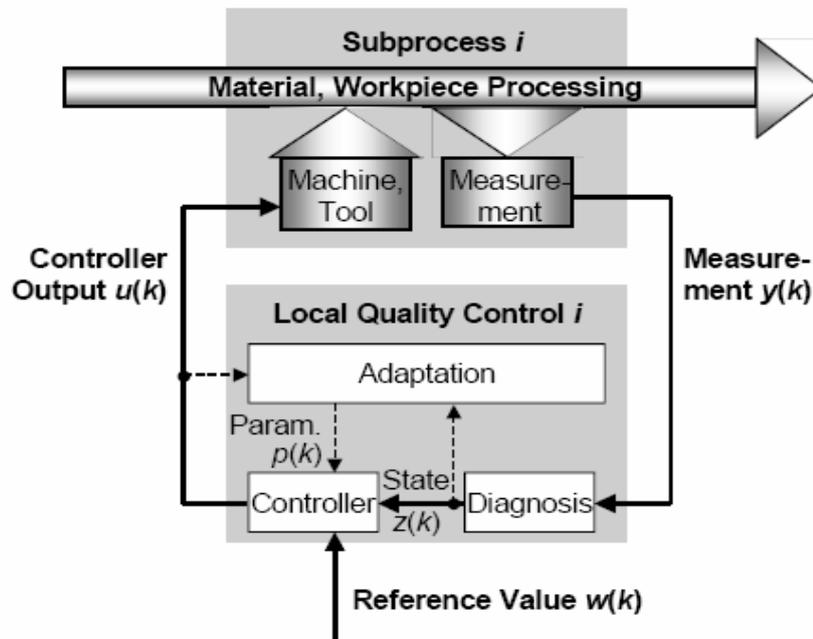


Figure 22. Structure de la démarche pour une maîtrise automatique de la qualité [Ament 2001]

Sur l'axe Produit, [Pillet 1999], [Bernard 2001] ont proposé de formaliser une démarche pour la résolution du problème qualité du produit en atelier appelée ADAQ (Analyse des Défauts pour l'Amélioration de la Qualité). Cette démarche permet de converger rapidement vers la source du problème et fournit un guide d'utilisation des différentes méthodes d'analyse de données ou d'expérimentation (Figure 23). Le principe est de faire en quelque sorte une AMDEC mais qui serait déclenchée chaque fois qu'un défaut apparaît en production.

	Étapes de l' ADAQ	Outils	Données de sortie de l'étape permettant la validation de l'étape
1	Identification du problème	Pareto Diagramme en arête de poisson	
2	Trouver une mesure corrélée	Corrélation Tests de comparaisons	Disposer d'une mesure avec une bonne capacité, corrélée au problème à résoudre
3	Créer une arborescence produit/processus	Diagramme matriciel Diagramme de flux Diagramme de produit	Modélisation de l'arborescence des sources potentielles du problème
4	Couper les branches	Analyse causale Tests de comparaisons Test de corrélation Inversion	Identifier la branche coupable Identifier les caractéristique suspectes
5	Rechercher les solution	Plans d'expérience	Trouver une configuration des X qui donne satisfaction sur le Y
6	Valider la solution et sa robustesse	Plan d'expérience produit	Validation que la solution trouvée ne dégrade pas une autre caractéristique, et que la solution est robuste aux paramètres d'environnement et d'utilisation
7	Mise sous contrôle	SPC	Processus en état de stabilité statistique et capable
8	Standardiser		Solution pérenne

Figure 23. Les concepts de base de l'ADAQ [Bernard 2001]

En effet, les étapes de formalisation de cette méthode sont structurées au travers d'un enchaînement d'étapes successives connues pour les méthodes de résolution de problème qui le plus souvent sont fondées sur l'approche PDCA (Figure 24).

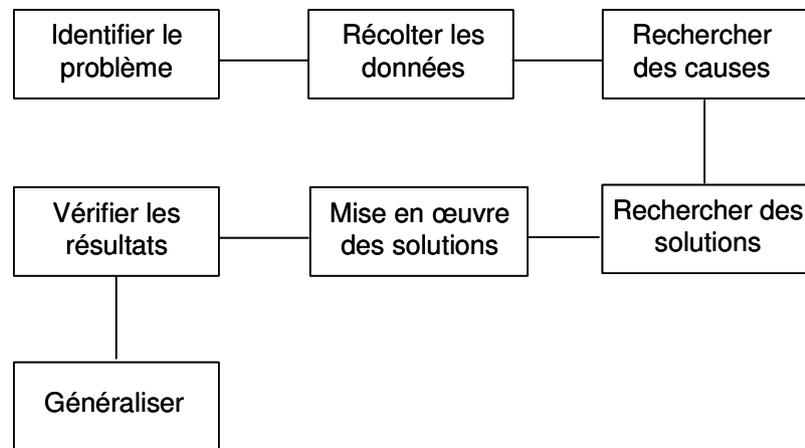


Figure 24. Etapes classiques des méthodes de résolution de problèmes qualité [Bernard 2001]

L'originalité de l'approche proposée est fondée sur trois points :

- La formalisation de la recherche d'une arborescence et d'une approche visant à valider rapidement l'ensemble d'une branche de l'arborescence ;
- L'analyse causale qui nous permet d'analyser de façon rapide et optimale l'ensemble des caractéristiques candidates.
- L'adéquation avec les principes de bases retenus.

Le but de l'analyse causale est de guider le technicien dans sa réflexion et ainsi de limiter de façon considérable le nombre d'essais. Cependant cette méthode, qui est limitée au niveau opérationnel, est orientée plutôt sur les problèmes relatifs à la maîtrise de la qualité du produit que sur la qualité du processus.

Face aux nouveaux scénarios rencontrés dans le processus de production relatif à la grande quantité de surveillances et de mesures à réaliser sur chaque produit, il émerge un vrai besoin pour l'automatisation de l'exécution des méthodes qualité. Cette automatisation doit être développée afin de s'adapter à des vitesses rapides d'entrées de données issues des processus et/ou des produits et puis de profiter de ces nouvelles données disponibles pour calculer des indicateurs. Dans ce sens, des techniques comme celle des réseaux de neurones ont été introduites en qualité. Par exemple, [Chinyao 2003], [Massimo 2004] ont présenté un système

de réseau de neurones pour identifier le comportement de processus en détectant des changements et les déviations de l'état du processus. Cette approche est basée sur la théorie de résonance adaptative (l'ART) mise en œuvre pour développer un modèle de maîtrise de qualité à travers un algorithme qui supporte l'ART. Ce modèle peut être exploité pour identifier des changements de l'état d'un processus de fabrication. La Figure 25 montre le système proposé pour la maîtrise de la qualité du processus de fabrication.

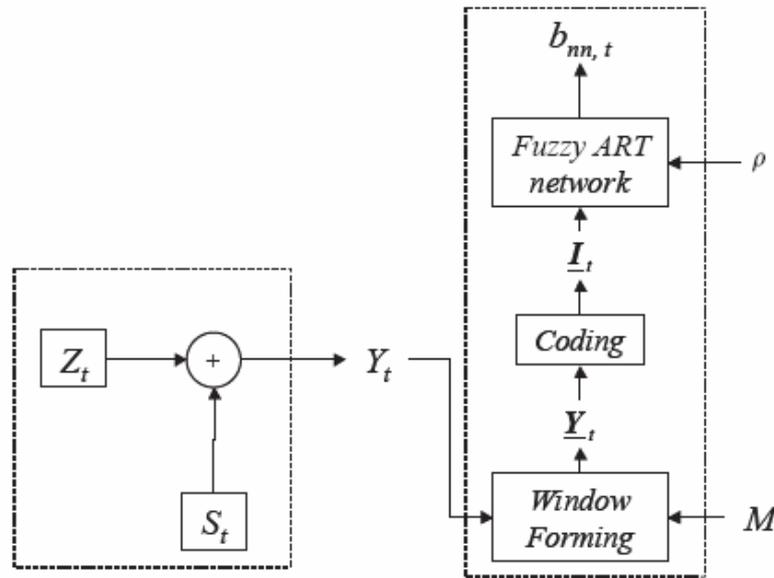


Figure 25. Système industriel en lien avec un réseau de neurones proposé pour la maîtrise de la qualité [Massimo 2004]

De même, une autre technique utilisant les réseaux bayésien a été introduite dans le domaine qualité pour surveiller et déterminer les causes racines d'une non-conformité. Dans ce sens, [Verron 2007] a proposé une méthode basée sur les réseaux bayésien pour diagnostiquer les fautes issues d'un système industriel qui peuvent provoquer des dérives qualité (trouver les causes possibles de ces dérives). Cette méthode inclut une sélection des variables les plus informatives du système. Ainsi, elle se base sur ces variables importantes pour diagnostiquer les fautes. La Figure 26 présente les différents procédés à réaliser durant l'utilisation de cette méthode.

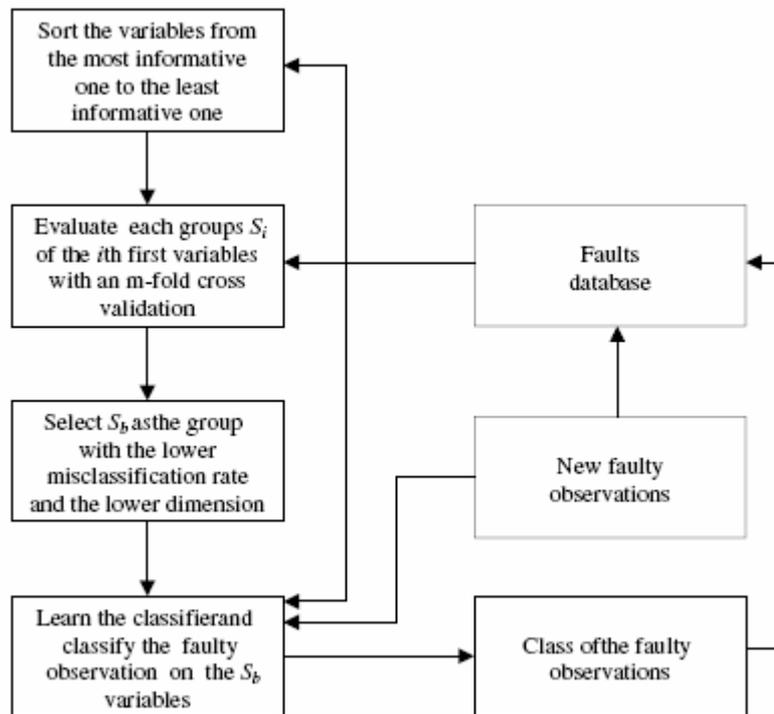


Figure 26. Le procédé pour le diagnostic de défaut [Verron 2007]

En effet, cette utilisation des techniques de réseau de neurones et de réseau bayésien est limitée dans la phase d'exploitation d'un processus de maîtrise de la qualité et aux activités qualité de niveau opérationnel sans prendre en compte des activités qualité des autres niveaux en entreprise.

En conclusion, une entreprise qui adopte une méthodologie de maîtrise et d'amélioration continue de la qualité devra faire appel à plusieurs activités qui répondent à cet objectif et qui fonctionnent en parallèle. Certaines d'entre elles se concentrent sur la maîtrise et l'amélioration de la qualité du produit, et d'autres sur le processus de son développement [Nilsson 2005]. De plus la plupart de ces contributions se concentrent sur le niveau opérationnel seulement et dans la phase d'exploitation sans commencer à traiter cette problématique dès la phase de conception. En effet, il n'y a pas vraiment de méthode ou de méthodologie qui est assez générique (basée sur une phase normative) pour maîtriser et améliorer, conjointement, la qualité de produit et la qualité de ses processus de production, de la conception de cette maîtrise jusqu'à son exploitation.

IV. Conclusion

Nous avons mis en évidence dans ce chapitre différentes contributions relatives aux problématiques scientifiques concernant la formalisation et l'intégration du processus qualité en entreprise dans l'objectif de mieux maîtriser et améliorer conjointement la qualité du produit et la qualité de ses processus de production de la conception jusqu'à l'exploitation.

Parmi ces contributions, très peu proposent des méthodologies homogènes permettant le déploiement cohérent et l'intégration du processus qualité, d'une part, au niveau tactique avec les autres types de processus, et d'autre part, aux deux autres niveaux en entreprise. Nous avons souligné aussi, au préalable, que les modèles « génériques » proposés n'englobent pas toutes les activités concernant la maîtrise et l'amélioration conjointe de la qualité du produit/processus. Il est à noter prioritairement que les démarches et les approches qualité proposées qui développent ces activités sont trop souvent « informelles » car ne supportant pas une phase de formalisation des concepts qualité dans leur étape de conceptualisation indispensable pour la maîtrise et l'amélioration de la qualité. Ce manque de formalisation est d'autant plus vrai pour le TQM dans l'interdépendance entre les trois composants du TQM.

Sur ce constat et pour faire face aux besoins industriels présentés dans le chapitre 1, nous proposons, dans le troisième chapitre, une approche générique pour la modélisation du processus qualité. Cette approche a pour objet de formaliser le processus qualité (centrée sur la vision de maîtrise et d'amélioration du produit/processus) qui s'intègre dans les différents niveaux structurels et qui supporte l'interdépendance formalisée entre les trois composants du TQM. Cette approche exploite et conserve les concepts qualité issus du modèle d'objet de matériel défini dans la norme IEC62264 et formalise des concepts qualité issus de la norme ISO9000:2000 et certaines méthodes qualité.

Chapitre 3 : Vers une approche générique de formalisation du processus qualité de niveau produit et processus de production

I. Introduction

A partir des constats formulés au chapitre 2 sur la modélisation et l'intégration du processus qualité, nous proposons dans ce chapitre une approche générique de formalisation (indépendante de toute application) du processus qualité restreint aux activités de niveau qualité produit et qualité processus de production. Cette approche est basée sur des règles sémantiques permettant d'aboutir à un guide qualité utilisable aussi bien en conception qu'en exploitation. L'approche formalise le processus qualité au niveau tactique intégré avec les niveaux opérationnel et stratégique d'une entreprise. L'objectif prioritaire de cette approche est de permettre une plus grande maîtrise et amélioration conjointes de la qualité du produit et de ses processus de production. Elle se positionne en cohérence avec le TQM et supporte une interdépendance formalisée entre les trois composantes du TQM.

L'approche s'appuie sur une modélisation des concepts (généraux et génériques) en qualité transcrits sous la forme de "méta-modèles" construits sur le langage de modélisation UML (Unified Modelling Language). Dans un premier temps, nous nous intéressons ainsi à la modélisation du processus qualité au niveau tactique ainsi qu'à son intégration avec le niveau stratégique, ceci en modélisant des concepts qualité extraits des normes ISO9000:2000 et IEC62264. Ensuite, nous détaillons l'extension du processus qualité vers le niveau opérationnel en modélisant des concepts qualité issus de méthodes qualité répondant aux besoins industriels genèse de ces travaux. Enfin, nous proposons des indicateurs qualité qui nous permettront d'évaluer le niveau de maîtrise et d'amélioration d'un processus qualité dédié à un cas d'application spécifique.

II. Principes de l'approche générique de modélisation

Dans le but de formaliser et d'intégrer le processus qualité en entreprise, tout en répondant aux besoins de formalisation de l'interdépendance des trois composants du TQM, notre contribution porte sur la proposition d'une approche générique matérialisant en quelque sorte un guide qualité. L'objectif au travers du déploiement de cette approche (du guide) est d'offrir une méthodologie, des outils ... pour améliorer et mieux maîtriser conjointement la qualité du produit et de ses processus de production. Cette approche se veut générique donc indépendante de tout domaine d'application mais « instantiable » lors de son déploiement à tous domaines d'application voire à toutes applications spécifiques.

En ce sens, l'approche générique se construit sur trois phases [Deeb 2007b], [Deeb 2007c]:

- Phase (1), la modélisation (formalisation) des concepts du processus qualité au niveau tactique et qui sont en lien avec le niveau stratégique. Cette formalisation permet de matérialiser une méthodologie dans le cadre du TQM,
- Phase (2), l'extension de la modélisation du processus qualité vers le niveau opérationnel. Cette extension permet de matérialiser l'interdépendance entre la méthodologie et quelques méthodes/outils de support dans le TQM (modélisation des objets communs),
- Phase (3), la modélisation des indicateurs qualité dans l'objectif d'évaluer l'approche qualité (phase d'évaluation). Cette phase permet de formaliser l'interdépendance entre la méthodologie et le « core value » choisi dans le TQM.

Notre approche qualité doit être considérée comme une approche « préventive » de la qualité qui consiste, par l'analyse, à faire en sorte que les dysfonctionnements (non-conformités) ne se produisent pas, et donc elle exige à faire bien du premier coup. Elle doit être utilisable depuis la phase de conception (i.e. exhaustivité des non-conformités potentielles) jusqu'à la phase d'exploitation (i.e. maîtrise ou anticipation de ces non-conformités) d'un produit/processus particulier à maîtriser et/ou à améliorer. Durant la phase de conception et suite à l'instanciation des concepts qualité (du générique vers un modèle spécifique), cette approche doit guider l'ingénieur qualité pour traduire ses exigences informelles en connaissances formalisées. La connaissance encapsulée dans le modèle spécifique (résultant

de l'ensemble des instances) est ensuite stockée dans une base de données et peut être directement transposée dans un formalisme compréhensible par l'opérateur sur site pour la phase d'exploitation. Ces informations (sur site) permettent de mieux suivre et d'anticiper en ligne les dérives qualité du produit et/ou du processus de production étudiés (à maîtriser et/ou à améliorer).

Par conséquent, il est nécessaire d'établir des règles de construction qui permettent de structurer notre approche qualité pour répondre à nos besoins de formalisation générique. Ces règles de construction doivent organiser les différentes étapes nécessaires à la création d'un modèle spécifique relatif à une maîtrise conjointe de la qualité du produit/processus étudié, et ce dès la phase de conception jusqu'à la phase d'exploitation.

Face à cette contrainte de généricité, nous avons utilisé la technique de "méta-modélisation" avec des règles de construction claires et documentées comme technique de formalisation. Dans la technique de "méta-modélisation", des mécanismes permettent aussi de créer, par une procédure d'instanciation, des modèles spécifiques de qualité dédiés à un cas d'application particulier.

La syntaxe et la sémantique opérationnelle du méta-modèle se traduisent par la notion de méta-classe, de méta-classe sous-type, des méta-associations (qui peuvent avoir un nom, des multiplicités, un rôle) et des contraintes. L'ensemble de ces notions nous permet d'introduire les règles de construction nécessaires pour construire notre approche qualité (en syntaxe et en sémantique). [Panetto 2006] a montré l'intérêt de l'utilisation de la technique de "méta-modèle" pour faciliter l'intégration des différents processus, systèmes, modèles dans l'entreprise. La méta-modélisation est un acte de modélisation appliquée sur un modèle [Oussalah 1997]. Le méta-modèle est défini comme un modèle d'un modèle [Seidewitz 2003] ou un modèle pour créer des modèles. Cette notion de méta-modèle qui est exposée par [Mannarion 1997] contient une architecture à trois couches (couche de méta-modèle, couche modèle et couche de l'univers du discours), comme un cadre ouvert à employer pour la construction des modèles intégrés en entreprise. Une approche actuelle représentative de la méta-modélisation est matérialisée par la proposition de l'approche MDA (Model Driven Architecture) de l'OMG (Object Management Group) [Miller 2003], [Mellor 2004]. Cette approche est basée sur quatre niveaux de modèle [Naumenko 2003] (Figure 27). Le niveau M3 présente le méta-méta-modèle et doit être conçu pour permettre la définition de tous les concepts nécessaires pour la modélisation de méta-modèles et pour leur unification sous un cadre commun. Le niveau M2 représente les méta-modèles spécifiques à chaque domaine: un

méta-modèle pour chaque domaine d'intérêt pertinent pour les modèles de niveau M1. Il résulte d'une phase d'instanciation du méta-méta-modèle. **C'est le niveau qui possède des règles de construction et des notations pour construire le modèle.** Le niveau M1 résulte d'une phase d'instanciation du méta-modèle. Il contient les différents modèles de chaque univers de discours. Les modèles du niveau M1 appartiennent à différents domaines d'intérêt relatifs aux univers du discours représentés par les modèles. Finalement le niveau le plus bas « niveau M0 » représente les différents sujets de modélisation aussi appelés « univers du discours ». Ce niveau résulte d'une phase d'instanciation du modèle.

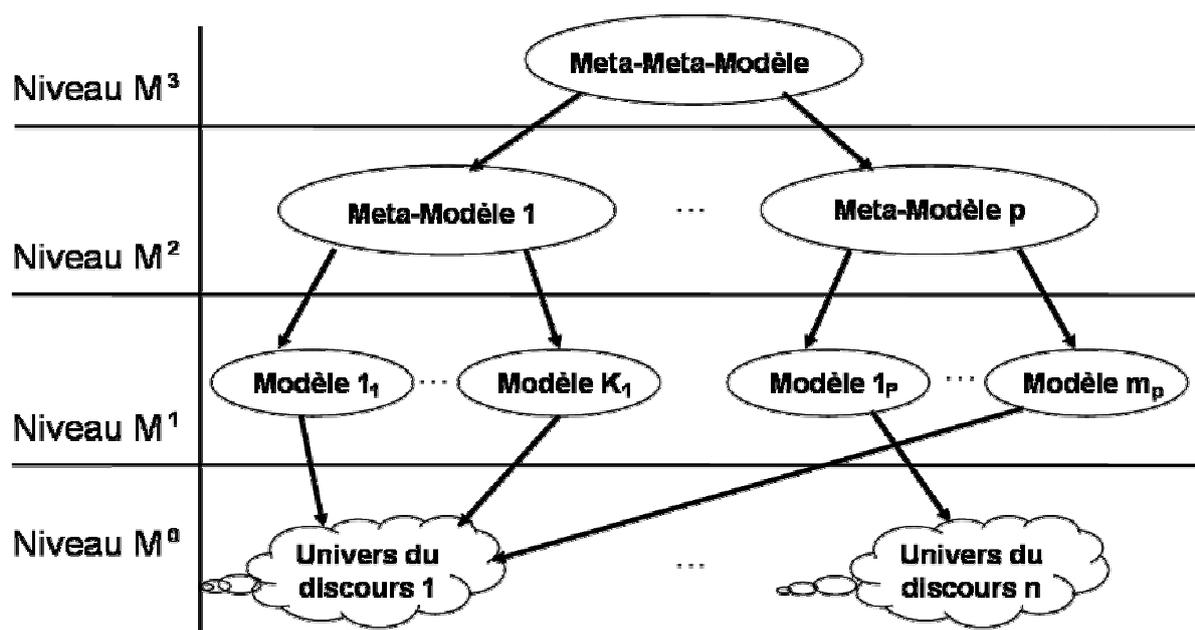


Figure 27. L'approche MDA et les quatre niveaux ontologiques [Naumenko 2003]

En effet notre approche qualité générique, à construire au niveau M2, va permettre de formaliser (rendre explicite) la connaissance générique extraite du processus qualité relativement au point de vue fixé (formalisation des concepts qualité). Le passage du niveau M2 au niveau M0 (à travers le niveau M1) suivra ainsi, pour chaque modèle spécifique, une procédure d'instanciation. Ensuite, l'utilisateur ou l'opérateur sur site pourra accéder à la connaissance (univers du discours) pour l'exploiter à ses fins de maîtrise et d'amélioration de ses produits/processus de production. Ceci peut se retraduire sous la forme de trois principales étapes dont la première symbolise la généricité de l'approche [Deeb 2005], [Deeb 2006] :

- extraction (acquisition) et méta-modélisation de la connaissance qualité : méta-modélisation des concepts qualité (méta-modèles des objets et des activités) issus de la norme ISO9000:2000, de la norme IEC62264 et des méthodes qualité qui sont

nécessaires pour répondre aux besoins industriels d'ALSTOM-Moteurs telles que AMDEC, MSP, Poka-yoké et APR (Analyse Préliminaire de Risques),

- instantiation des différents méta-modèles issus de la première étape à chaque cas d'application particulier. Ceci permet de construire un modèle spécifique qui contient la connaissance qualité nécessaire pour supporter la maîtrise conjointe et l'amélioration du produit/processus étudiés
- extraction et exploitation, sur site, de la connaissance encapsulée dans ce modèle spécifique.

L'objectif de ces trois étapes est de passer d'une connaissance implicite informelle à une connaissance explicite formelle [Deeb 2006].

Dans notre approche qualité chacun des méta-modèles au niveau M2 support de l'approche permet d'avoir, par instantiation, un modèle particulier au niveau M1, par exemple : le méta-modèle support de la méthode AMDEC permet, par instantiation, d'avoir un seul modèle AMDEC. Cela nous permet d'éviter pendant l'instanciation des méta-modèles de passer par le niveau M1 et d'aller directement au niveau M0. Par instantiation, il s'agit de « valuer » les champs des méta-classes du modèle considéré (création d'instances). Par exemple, l'instanciation de la méta-classe « Processus » consiste à attribuer une valeur au champ « processus » (i.e. assembler des tôles) ainsi qu'aux différents attributs de cette méta-classe. La Figure 28 décrit l'instanciation, selon notre approche, de la méta-classe « processus » dans le cas d'un processus « assembler des tôles ».

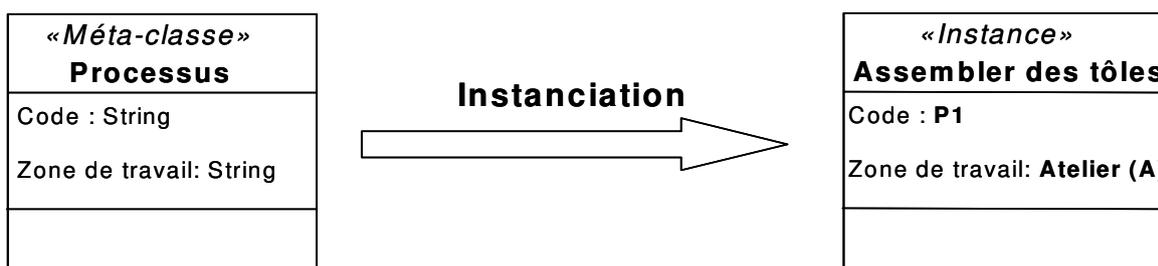


Figure 28. Le principe d'instanciation de la méta-classe « Processus »

Pour structurer les différentes étapes de modélisation de notre approche qualité dans un contexte entreprise (i.e. cohérence avec la notion de cadre de modélisation), nous utilisons le cadre de modélisation Zachman. Chacune de ces étapes de modélisation remplit une ou plusieurs des cases du cadre Zachman. Par exemple, la première étape de la modélisation est purement contextuelle, il n'y a pas de diagramme à établir. Elle permet de lister les éléments

importants pour la modélisation et identifier les processus concernés. Cette étape préliminaire couvre la première case des colonnes (de gauche à droite), correspondant au contexte :

- Quoi (What) pour les objets importants : documents qualité, ressources informatiques,
- Comment (How), pour lister les processus : processus de production et le processus qualité,
- Qui (Who), pour préciser l'acteur : ingénieur qualité,
- Pourquoi (Why), pour déterminer l'objectif : fournir une approche qualité plus formalisée (Guide qualité).

Le positionnement des autres étapes de modélisation à développer dans le cadre de notre approche qualité est illustré dans la Figure 29.

		Quoi (Objet)	Comment (Traitement)	Où (Réseau)	Qui (Acteurs)	Quand (Temps)	Pourquoi (Motivations)
À développer dans le Chapitre 3	PORTEE {contextuel} Planificateur Concepteur	<u>Thing important to the business :</u> - Documents - Ressources	<u>List of processes the business performs:</u> - Production - Qualité		<u>List of organizational units:</u> Ingénieur qualité		<u>List of business goals:</u> Offrir une approche qualité (guide qualité)
	MODELE DE L'ENTREPRISE {conceptuel} Propriétaire Concepteur	<u>Semantic model :</u> Méta-Modèle d'objets	<u>Business process model :</u> Méta-modèle d'activités		<u>Work flow model:</u> Ingénieur qualité		<u>Business pain :</u> Supporter l'approche qualité
À développer dans le Chapitre 4	MODELE DU SYSTEME {logique} Concepteur	<u>Logical data model:</u> Modèle relationnel représente le modèle d'objets			<u>Human interface architecture:</u> Ingénieur qualité		<u>Business rule model:</u> Construire une base de données
	MODELE DE TECHNOLOGIE {physique} Concepteur	<u>Physical data model:</u> Script pour créer une base de donnée	<u>System design:</u> Modèle spécifique qui contient les données qualité		<u>Presentation architecture:</u> Ingénieur qualité		<u>Rule design:</u> Construire une base de données pour stocker la connaissance du modèle spécifique
	REPRESENTATION DETAILLEE Concepteur Programmeur	<u>Data definition :</u> - Créer une base de données - Saisir des données	<u>Program:</u> Construire un programme pour transférer les données qualité vers la base		<u>Security architecture :</u> Ingénieur qualité		<u>Rule specification:</u> Stocker les données
	Système de fonctionnement	<u>Actual business data</u> Support pour afficher les données	<u>Actual application code:</u> Construire un support		<u>Actual business organization :</u> Ingénieur qualité - Opérateur sur site		<u>Actual business strategy:</u> Extraire et exploiter des données

Figure 29. Positionnement des différentes étapes de modélisation de l'approche qualité dans le cadre de modélisation Zachman

Les étapes de modélisation de l'approche qualité, telle qu'elles sont décrites dans ce chapitre 3, n'adressent que les niveaux contextuel et conceptuel du cadre Zachman. Dans le chapitre 4, nous mettons en évidence les autres étapes de modélisation qui s'adressent aux autres niveaux d'abstraction et qui correspondent aux étapes d'instanciation et d'exploitation de la connaissance qualité.

Ainsi, en respectant le positionnement des différentes étapes de modélisation dans le cadre Zachman, les différentes étapes du développement de notre démarche qualité globale (support à la partie générique), pour construire l'approche qualité, sont illustrées dans la Figure 30.

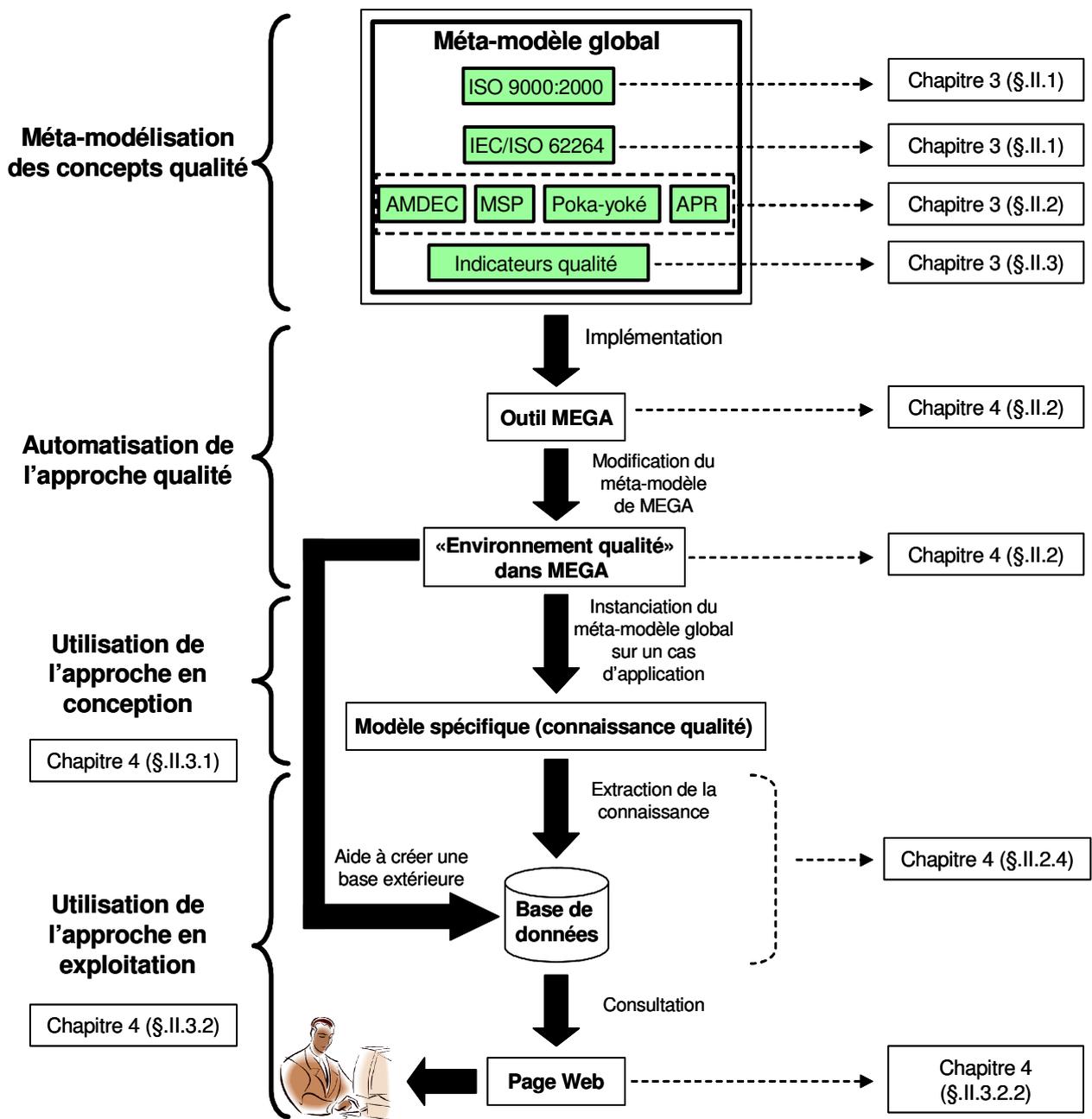


Figure 30. Les différentes étapes de la démarche pour construire l'approche qualité

Dans la phase de méta-modélisation, l'approche se concrétise à travers deux types de modèles:

- modèle d'objets (données) : exprime de manière générale l'aspect statique d'une méthodologie ou d'un système,
- modèle d'activités (traitement) : exprime de manière générale l'aspect dynamique (comportement interne) d'une méthodologie ou d'un système. Les activités processent les données (en entrée et/ou en sortie).

La réalisation des différents méta-modèles nécessite le support d'un outil et d'un langage de modélisation nous permettant de répondre à nos besoins en créant des méta-modèles d'objets, des méta-modèles d'activités et de réaliser les différentes règles de construction supports de notre approche. Différents langages de modélisation sont actuellement proposés avec l'objectif d'effectuer la modélisation en entreprise : NIAM, UML, IDEF0, Pour effectuer la modélisation de notre approche qualité, nous avons choisi le langage de modélisation UML (Unified Modelling Language) [Booch 2000], [UML 2003] parce que :

- il est un des langages les plus utilisés dans le domaine de la modélisation en entreprise,
- il est le standard de l'OMG pour la modélisation de l'objet,
- il fait partie de l'ensemble des outils MDA (Model Driven Architecture)
- il permet de décrire facilement le niveau modèle et le niveau méta-modèle.

UML offre aussi la possibilité d'extensions (mises à jour) vers le nouvel langage de modélisation SysML (Systems Modeling Language). Il est un langage semi-formel offrant des mécanismes graphiques de modélisation. Il permet non seulement de représenter et de manipuler les concepts objet mais en plus il sous-entend aussi une démarche d'analyse nécessaire à la conception d'une solution objet de manière itérative, grâce aux diagrammes qui supportent l'abstraction. Parmi ces différents types de diagrammes, deux types de diagrammes répondent plus spécifiquement à nos besoins (**Annexe (A)**) :

- le diagramme (modèle) de classe d'objet : à travers ce type de diagramme nous créons les méta-modèles d'objets en termes de méta-classes et de méta-association,
- le diagramme (modèle) d'activités : à travers ce type de diagramme nous créons les méta-modèles d'activités (traitement) en termes d'activités et de transitions.

Ainsi, basée sur UML, la modélisation réalisée permet de représenter chaque concept de l'approche par une méta-classe d'objet et la relation entre ces objets par une méta-association. Les différents types d'associations intégrés dans le modèle de classe d'objets tels que l'agrégation, la génération, ... ainsi que ses multiplicités et les contraintes entre les associations permettent d'introduire les différentes règles de construction dans notre approche qualité. Cette approche est ensuite supportée par un outil de modélisation de processus d'entreprise MEGA Suite qui nous aidera à mettre en œuvre ces règles de construction puis à automatiser notre approche pour soutenir et faciliter son utilisation.

Dans les sections suivantes II.1, II.2 et II.3, nous détaillons donc l'ensemble de la phase de méta-modélisation (concepts qualité au niveau tactique en lien avec le niveau stratégique ; extension des concepts vers le niveau opérationnel ; intégration des indicateurs qualité) en expliquant les différentes étapes suivies pour supporter ces phases.

II.1. Formalisation des concepts qualité au niveau tactique en lien avec le niveau stratégique

Le processus qualité à formaliser se situe aux niveaux tactique et stratégique, et supporte certaines activités et règles qualité à mettre en œuvre représentant une méthodologie qualité dans le cadre du TQM. Cette méthodologie a pour but de satisfaire le « core value », de maîtrise et d'amélioration conjointes de la qualité du produit et de ses processus de production, et ce tant au niveau tactique que stratégique. Ce « core value » détermine le contexte de la formalisation du processus qualité, cœur de notre contribution, puisque notre effort de modélisation porte principalement et prioritairement sur les activités (et les objets associés) déployées dans cet objectif de maîtrise et d'amélioration.

Cette première phase de formalisation est basée sur une méta-modélisation des concepts qualité de niveau tactique extraits de l'approche processus prônée par la norme ISO9000:2000. Cette norme a été élaborée pour aider les organismes, de tous les types et de toutes tailles, à mettre en œuvre et appliquer des systèmes de management de la qualité efficaces. Elle décrit les principes essentiels des systèmes de management de la qualité et en spécifie la terminologie. Ainsi, cette norme nous offre la définition des différents termes (concepts) utilisés dans le domaine de la qualité et répond à notre besoin relatif à la **généricité** de l'approche qualité visée.

La méta-modélisation permet l'unification, au minimum, des concepts qui représentent les activités de surveillance, de diagnostic et de mise en place et suivi d'actions correctives et

préventives (activités considérées comme essentielles en regard du « core value » fixé). Cette étape est conduite selon les notions de maîtrise et d'amélioration de la qualité pour remédier aux non-conformités produit/processus de production. De tels travaux, portant sur la formalisation de concepts définis dans une norme, ont déjà été effectués. Par exemple, [Blaise 2000] formalise en NIAM des normes portant sur la sécurité des machines.

La méta-modélisation des concepts qualité est basée sur les étapes suivantes:

- extraire des définitions et/ou des phrases élémentaires incluses dans la norme, les items essentiels pour identifier ces concepts qualité ainsi que leurs relations. Ces concepts qualité sont nécessaires pour réaliser et satisfaire le « core value » considéré,
- modéliser chaque concept (entité) extrait de la norme par une méta-classe UML comme « produit », « processus », « cause », « non-conformité », etc. Chaque méta-classe modélisée contient des attributs,
- représenter chaque lien entre deux entités (méta-classes) par une méta-association possédant un nom, un rôle et des multiplicités,
- représenter les contraintes, d'une part, par des liens entre des méta-classes et/ou entre des relations d'association, et d'autre part, par des multiplicités liées à chaque méta-classe. Ces contraintes matérialisent les règles de connaissance extraites de la définition textuelle des concepts.

A cette vue des objets (statique) est associée, une vue dynamique au travers de la définition des modèles d'activités processant ces objets (dualité activité – objets).

Ainsi sur l'axe objets, à partir du texte normatif de la norme ISO9000:2000, et en suivant les principes précédemment expliqués, nous avons construit le méta-modèle qui supporte le processus qualité (méthodologie dans le TQM) au niveau tactique satisfaisant le « core value » considéré.

Afin de donner une vision pragmatique de cette méta-modélisation, nous déclinons ci-après 3 exemples sur la base des définitions extraites de la norme ISO9000:2000, de leur interprétation et de leur modélisation:

Exemple (1) : « *Un processus est un ensemble d'activités corrélées ou interactives qui transforme des éléments d'entrée en éléments de sortie* » et l'autre définition : « *un produit est le résultat d'un processus* ».

Comme l'illustre la Figure 31, nous créons à partir de ces deux définitions et de leur interprétation :

- les méta-classes : « Processus », « Produit d'entrée » et « Produit de sortie »,
- la relation d'association traduisant qu'un processus peut être composé de plusieurs processus élémentaires (activités),
- la relation d'association traduisant qu'un processus réalise un ou plusieurs produits de sortie,
- la relation d'association traduisant qu'un produit d'entrée est fourni à un ou plusieurs processus,

À ces méta-classes sont ensuite associés des attributs représentatifs des concepts modélisés et de leurs caractérisations.

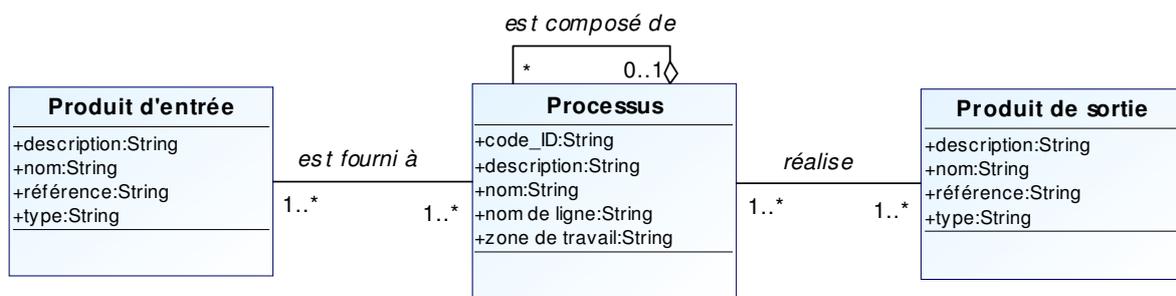


Figure 31. Modélisation de la relation entre les objets « Processus », « Produit d'entrée » et « Produit de sortie »

Exemple (2) : « Une exigence est un besoin ou une attente formulée, implicite ou imposée » et la définition « Un qualificatif peut être utilisé pour désigner un type spécifique d'exigence, par exemple exigence relative au produit ou, exigence relative au processus ».

À partir de ces considérations, nous créons (Figure 32) :

- la méta-classe « Exigence »,
- deux méta-classes sous-types de la méta-classe « Exigence » qui sont : « Exigence produit » et « Exigence processus »,
- la relation d'association traduisant que le processus a des exigences processus,
- la relation d'association traduisant que le produit de sortie a des « exigences produit »
- la caractérisation de chacune des méta-classes par un ensemble d'attributs.

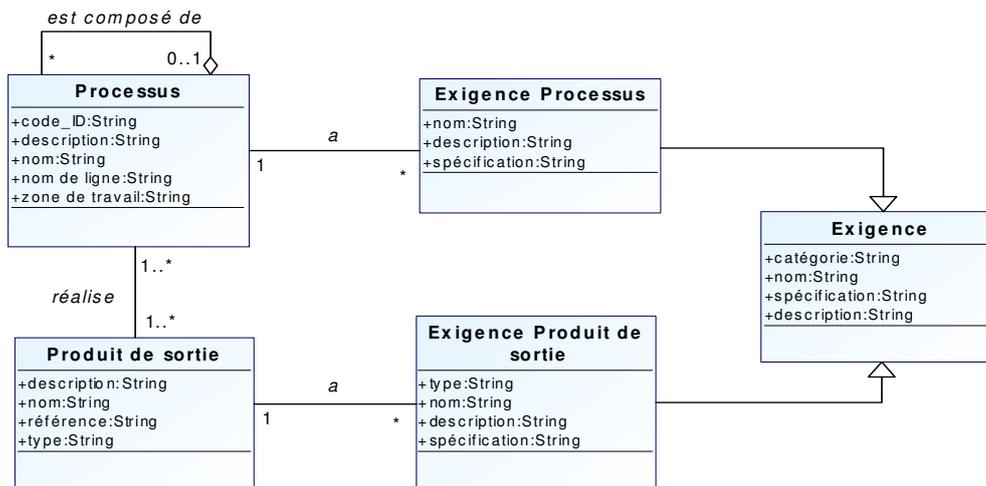


Figure 32. Modélisation de la relation entre les objets relatifs aux processus, produits de sortie et leurs exigences

Exemple (3) : « Une action préventive est une action visant à éliminer la cause d'une non conformité potentielle ou d'une autre situation potentielle indésirable » et l'autre définition « une action corrective est une action visant à éliminer la cause d'une non conformité ou d'une autre situation indésirable détectée ».

A partir de ces deux définitions, nous créons (Figure 33):

- les méta-classes « Action » et « Cause »,
- deux méta-classes sous-types de la méta-classe « Action » qui sont : les méta-classes « Action préventive » et « Action corrective »,
- la relation d'association traduisant qu'une non-conformité a des causes,
- la relation d'association traduisant qu'une action élimine une ou plusieurs causes,
- la relation d'association traduisant qu'une cause est éliminée par une ou plusieurs actions (préventives ou correctives),
- la caractérisation de chacune des méta-classes par un ensemble d'attributs.

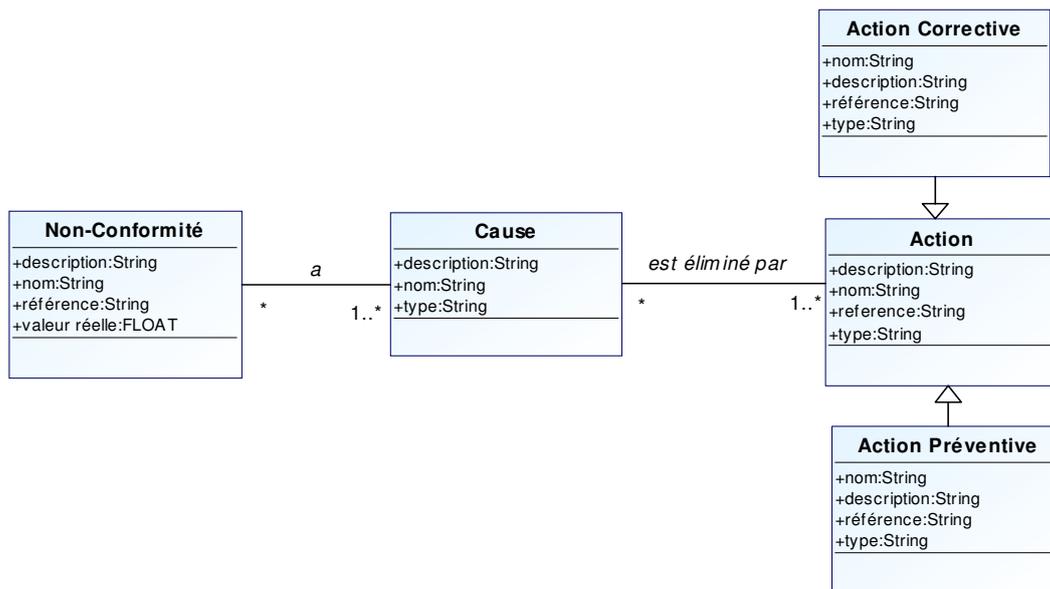


Figure 33. Modélisation de la relation entre les objets « Cause » et « Action »

Sur la base de ces exemples, le méta-modèle global résultant est un méta-modèle d'objets support de la méthodologie proposée en cohérence avec le TQM (Figure 34). Une vue complète du méta-modèle des objets supports du processus qualité au niveau tactique est présentée dans l'Annexe (B).

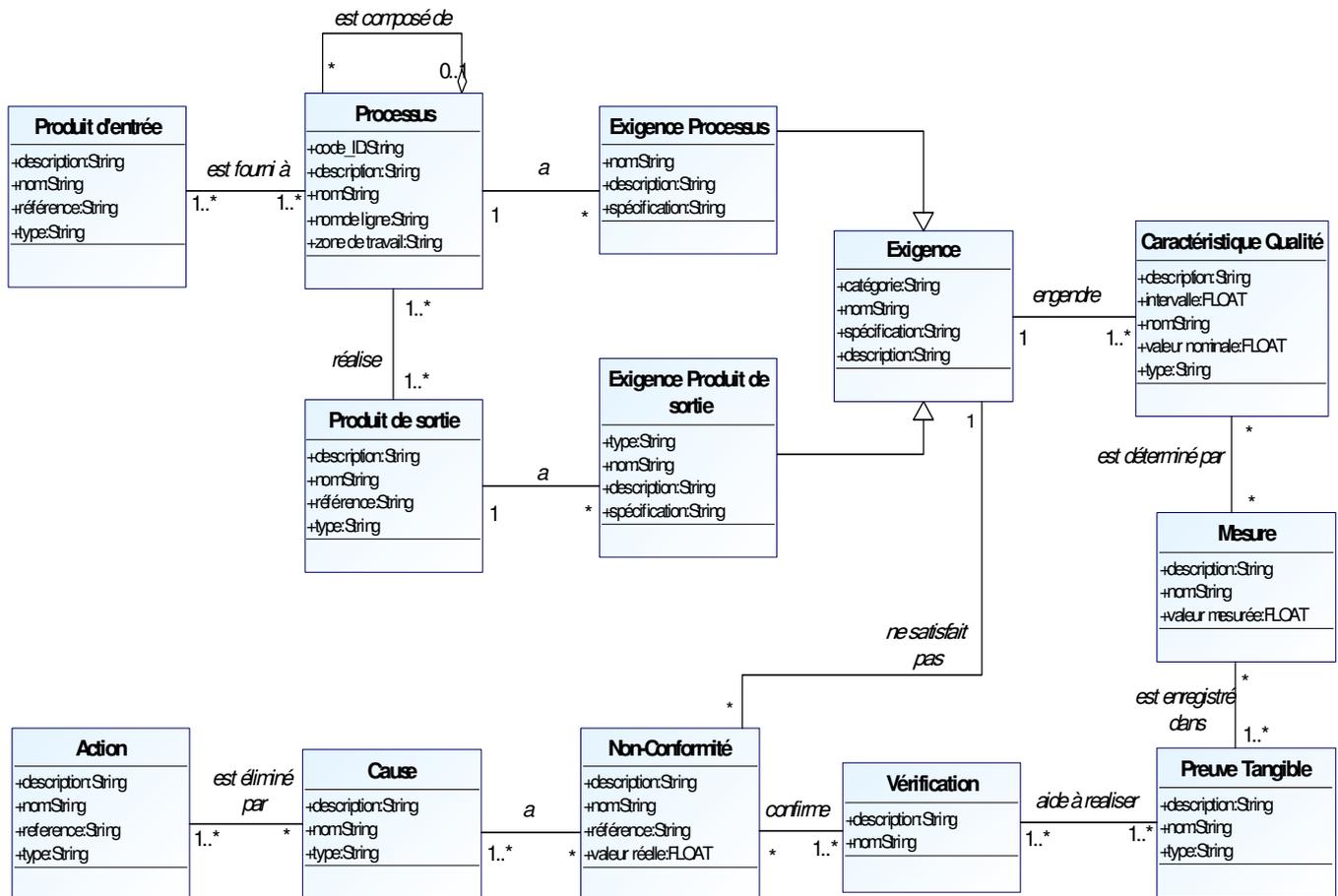


Figure 34. Extrait du méta-modèle des objets, issu de la norme ISO9000:2000, support de la méthodologie proposée en cohérence avec le TQM

Le méta-modèle des objets qui supporte cette phase de formalisation de la méthodologie (dans le cadre du TQM) exprime l'aspect statique de la méthodologie. Aussi pour exprimer l'aspect dynamique de cette méthodologie, nous avons proposé en dualité un méta-modèle d'activités qui présente la séquence des activités à réaliser pour exploiter cette méthodologie (Figure 35). Une vue complète du méta-modèle des activités supports du processus qualité au niveau tactique est présentée dans l'Annexe (C).

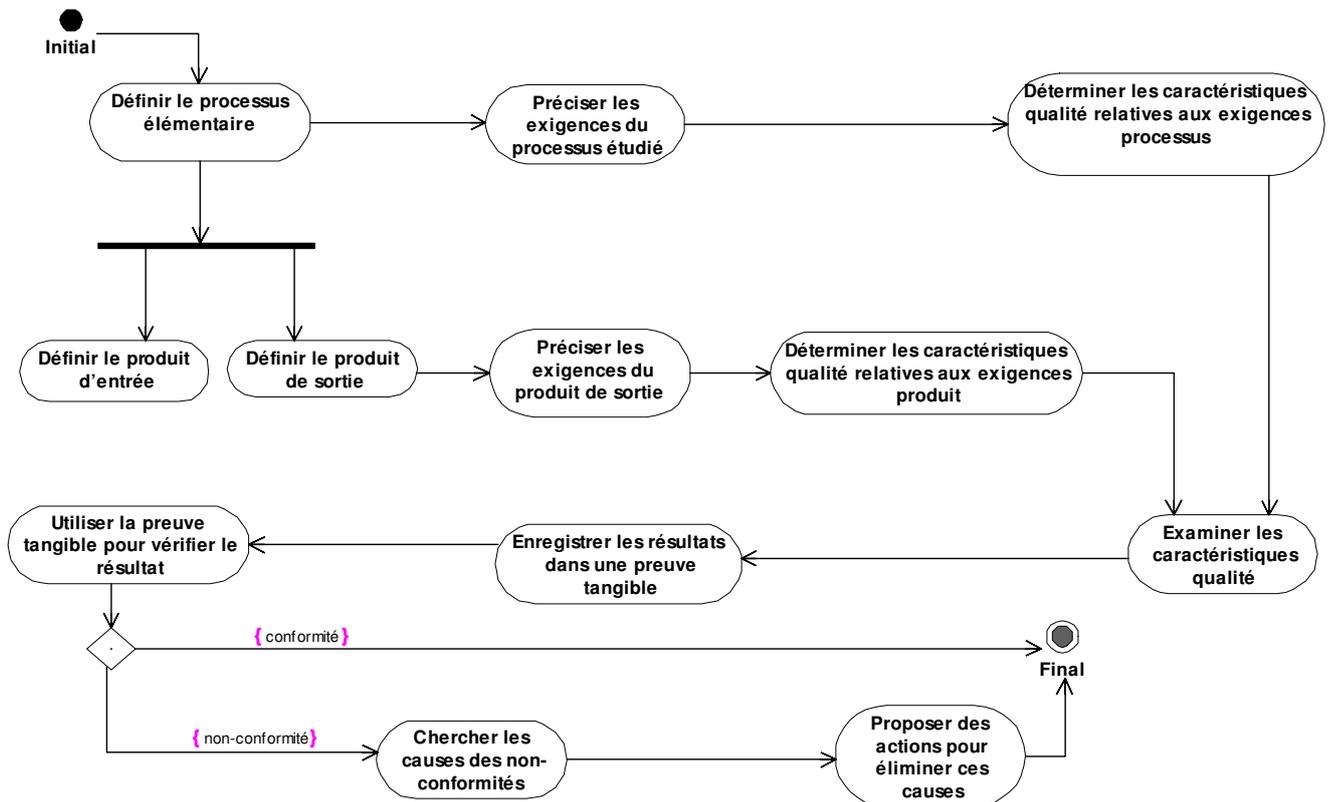


Figure 35. Extrait du modèle d'activités support de la méthodologie proposée (partie extraite de la norme ISO9000:2000)

La Figure 35 présente la séquence d'activités, relatives principalement au processement des objets « processus », « produit », « exigence » ..., qui est identifiée à partir des définitions de la norme et plus spécifiquement de la structure sujet-verbe-complément d'objet direct.

En complément de ce premier acte de méta-modélisation et pour aboutir à un seul processus qualité qui supporte les niveaux tactique/stratégique tout en étant intégré horizontalement avec les autres processus de niveau tactique, une modélisation des concepts qualité des niveaux stratégique et tactique a également été effectuée. Ces concepts représentent des activités qualité selon les notions de maîtrise et d'amélioration de la qualité (« core value » considéré), désignée dans la fonction de management de la qualité qui est introduite dans la norme IEC62264.

La partie 1 [IEC62264-1 2003] de cette norme propose déjà des entités modélisées au niveau tactique comme les concepts : « Test qualité » et « Résultat de test qualité ». D'autres entités (concepts) qualité du niveau tactique et stratégique sont modélisées de manière identique à celle utilisée pour modéliser les concepts qualité issus de la norme ISO9000:2000 comme : « Equipement » et « Planification de test qualité ».

La Figure 36 illustre les méta-classes qui représentent la partie du processus qualité extrait de la norme IEC62264 [IEC62264-1 2003], [IEC62264-3 2007]. Ces concepts sont directement intégrés au méta-modèle préalablement présenté.

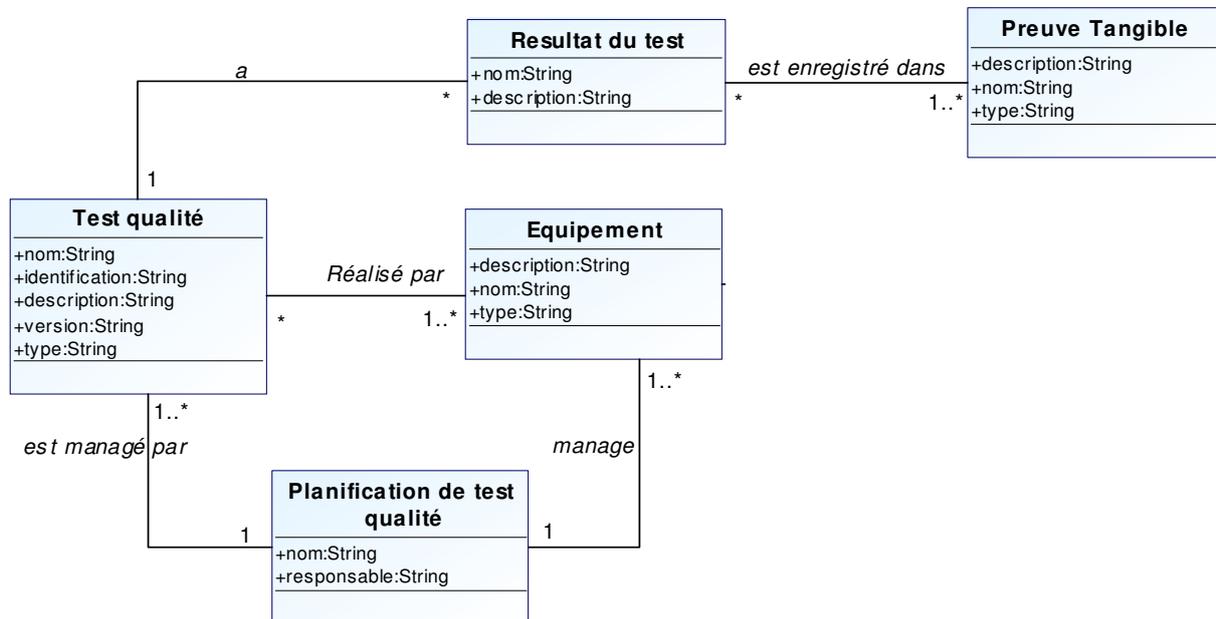


Figure 36. Extrait du méta-modèle des objets en lien avec la norme IEC62264

Le méta-modèle résultant matérialise donc un processus qualité de niveau tactique en lien avec le niveau stratégique, il supporte la méthodologie qualité proposée dans le cadre de notre approche qualité (en cohérence avec le TQM).

Pour répondre efficacement à des questionnements soulevés lors de la phase d'analyse de la situation de l'entreprise ALSTOM-Moteurs, ce méta-modèle est encore interprétable car il ne dispose pas d'assez de contraintes, de règles sémantiques fortes. En effet, lors de son utilisation, l'ingénieur qualité peut encore interpréter de façon potentiellement ambiguë quelques méta-classes telles que : « Exigences produit », « Cause » (i.e. exhaustivité dans les causes), « Action préventives », ... Cela est dû à ce stade à une incomplétude sémantique de notre proposition et peut aboutir à une utilisation non-optimale du guide qualité. Afin de répondre à certaines ambiguïtés ou incomplétudes de ce méta-modèle, nous avons donc introduit dans ce méta-modèle des connaissances supplémentaires sous la forme de « modelling constructs ». Ils permettent de limiter l'interprétation du méta-modèle en introduisant des connaissances principalement matérialisées par des contraintes et des sous-typages [Deeb 2005]. Comme notre approche se veut générique, ces connaissances

doivent se référer à des « éléments » approuvés indépendamment de contexte particulier. Elles sont donc issues:

- de normes,
- de théories,
- d'approches, de méthodes ou d'outils éprouvés.

Premièrement, pour mieux résoudre le problème d'identification de la méta-classe « Cause », nous avons introduit le principe de 5M [Ishikawa 1963]. Ce principe permet de définir les types des causes liées à une non-conformité qui peuvent se trouver dans les différents niveaux structurels en entreprise. Ces causes sont regroupées en cinq familles (Figure 37):

- Main d'œuvre (les opérateurs du processus)
- Machine (les outils, les machines...)
- Matière (les éléments entrant dans le processus, les énergies nécessaires pour les machines...)
- Méthodes (les gammes, les procédures, les instructions...)
- Milieu (l'environnement de travail)

Par exemple, notre approche contient les concepts (cause et action) qui sont issues du niveau tactique (extraits de la norme ISO) et aussi du niveau opérationnel (extraits des méthodes qualité). Ainsi, les actions et les causes peuvent être rattachées aux différents niveaux

Le principe de 5M permet par conséquent de spécialiser la méta-classe « Cause » par les cinq méta-classes sous-types suivantes : « Cause machine », « Cause main d'œuvre », « Cause méthodes », « Cause milieu » et « Cause matière ». Il amène une exhaustivité dans la recherche de causes.

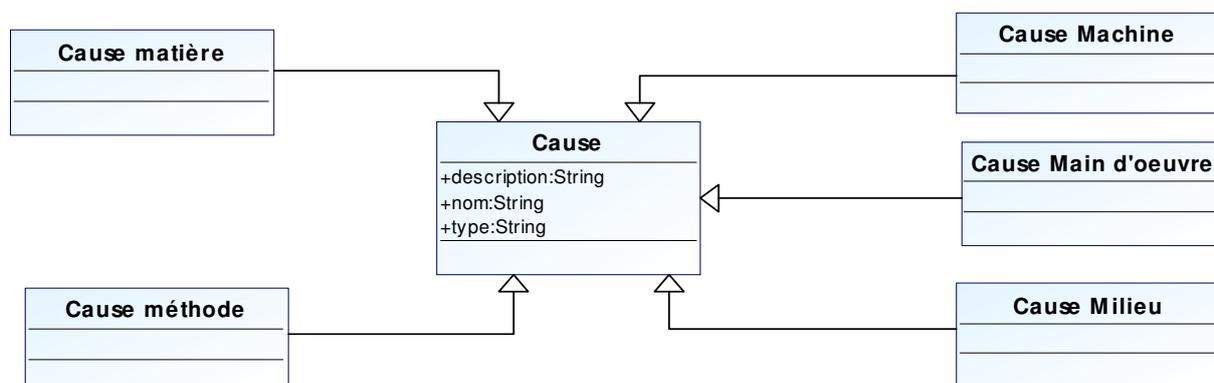


Figure 37. Modélisation des sous-types de la méta-classe « Cause »

Deuxièmement, en ce qui concerne des exigences du produit, généralement comme pour ALSTOM-Moteurs, les ingénieurs ne s'intéressent qu'à la maîtrise de l'exigence de « forme » du produit sans prendre en compte des autres exigences telles que les exigences relatives au stockage ou au transport du produit dans l'entreprise. Par exemple des non-conformités « produit » sur l'ancien site Alstom-Moteurs étaient liées aux chocs intervenant lors du transport des moteurs (i.e. moteur cogné contre un coin de mur, une machine ...). L'identification des causes de ces chocs a demandé toute une nouvelle étude, non initialement prévue, car l'activité de transport n'avait jamais été considérée puisque non source de valeur ajoutée. Cependant compte tenu de l'organisation des postes (et de l'évolution de cette organisation), la maîtrise de cette activité devenait indispensable pour atteindre le niveau requis de qualité des produits. Donc, pour apporter une plus grande exhaustivité dans l'identification des exigences du produit, nous avons introduit le principe de la Théorie du Système Général [Le Moigne 1977]. Ce principe préconise que le produit est nécessairement caractérisé par des attributs de forme, d'espace et de temps. Un processus modifie généralement au minimum deux de ces attributs (temps-forme ou temps-espace) [Mayer 1995]. Par exemple, un processus classique de tournage d'une pièce permet de modifier les attributs de forme et de temps mais ne permet pas de modifier l'attribut d'espace parce que la pièce ne change pas de position durant la transformation de forme. Ainsi, ce principe a pour conséquence d'ajouter à la méta-classe « Exigence produit de sortie » les méta-classes sous-types suivants : « Exigence temps », « Exigence espace » et « Exigence forme », ainsi que d'ajouter une contrainte relative à ces sous-types (Figure 38).

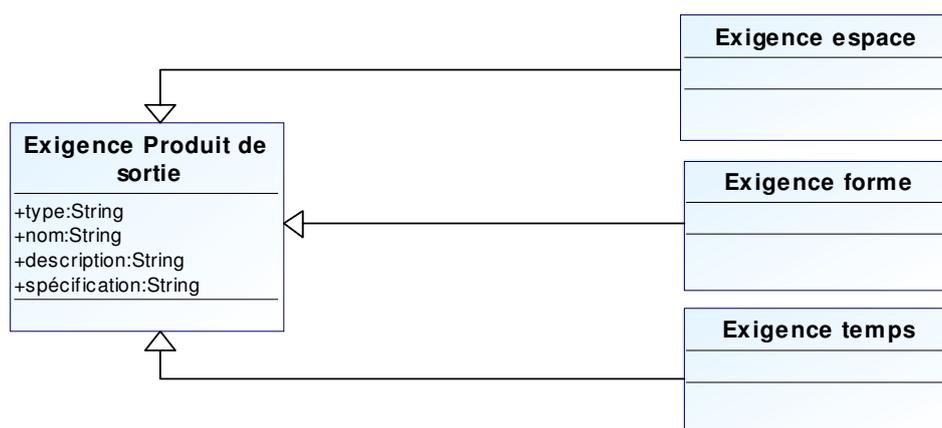


Figure 38. Modélisation des sous-types de la méta-classe « Exigence produit »

Finalement, pour aider à l'identification de la méta-classe « Action préventive », nous avons introduit des connaissances définies dans les normes de maintenance [Afnor 1994]. La norme

définit trois stratégies (types) d'actions préventives: actions préventives systématiques, actions préventives conditionnelles et actions préventives prévisionnelles. Ceci nous a permis d'ajouter à la méta-classe « Action préventive », les méta classes sous-types suivants : « Action préventive systématique », « Action préventive prévisionnelle » et « Action préventive conditionnelle » (Figure 39).

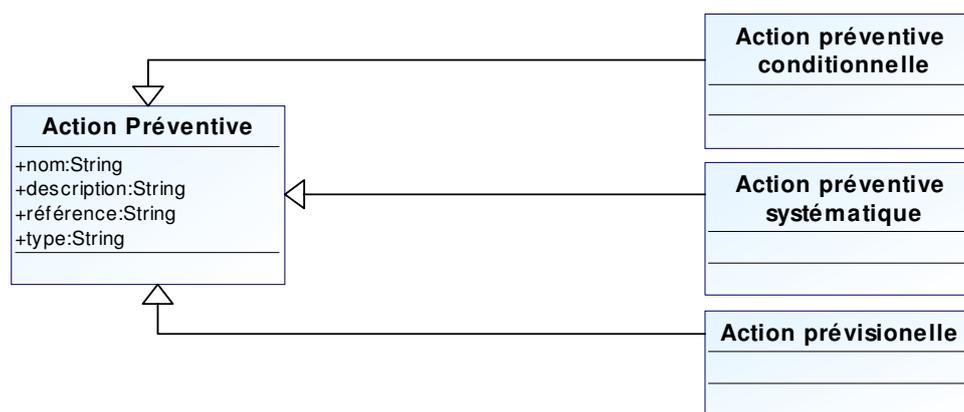


Figure 39. Modélisation des sous-types de la méta-classe « Action préventive »

L'ensemble des méta-classes sous-types résultant de la modélisation des « modeling constructs » issus de la théorie du système général, du principe des 5M, et les principes des normes de maintenance, sont directement intégrés au méta-modèle préalablement présenté. Cette sémantique amène alors des règles de construction supplémentaires qui vont aider, voire guider de façon plus ou moins « contraignante » l'ingénieur qualité lors de l'utilisation de notre approche qualité, dans sa démarche d'étude de la maîtrise d'un produit/processus particulier.

A cette première base de règles, d'autres sémantiques toujours sous forme de « modelling constructs » peuvent être ajoutées au méta-modèle dans l'objectif de réduire d'autres ambiguïtés et incomplétudes potentiellement révélées par exemple après une première phase d'expérimentation. Des voies à explorer concernent par exemple :

- la norme DF X 50 -176 (Management des processus) [FD X50-176 2000] qui peut aider à mieux caractériser le processus de production,
- la norme NF ISO 10012 [NF ISO10012 2003] qui permet de mieux caractériser un processus de mesure.

II.2. Modélisation de l'extension du processus qualité vers le niveau opérationnel

La deuxième partie de notre approche consiste en la méta-modélisation des concepts qualité du niveau opérationnel, extraits des méthodes/outils qualité et leur intégration avec le méta-modèle coeur de la méthodologie (en cohérence avec le TQM) initiale à partir des concepts communs. L'objectif de cette méta-modélisation et de cette intégration est d'introduire de nouveaux concepts dans l'approche qualité proposée, issus des méthodes qualité et ceci toujours en regard du « core value » à satisfaire. Cette intégration a pour objet, d'une part, d'étendre le processus qualité formalisé au niveau tactique vers le niveau opérationnel puisque la plupart des méthodes/outils qualité sont exploitables dans ce niveau (*cette modélisation ne contient pas la partie management des méthodes*). Et d'autre part, de formaliser l'interdépendance entre la méthodologie et les méthodes/outils qualité en cohérence avec le TQM. Cette interdépendance doit permettre d'exécuter à partir de la méthodologie (en cohérence avec le TQM) la méthode qualité adéquate au moment opportun. Cette exécution a pour but, dans l'étude de la maîtrise et de l'amélioration de la qualité d'un produit/processus particulier, d'identifier plus aisément des occurrences de classes du méta-modèle. Par exemple, pendant la phase de conception, l'utilisation de la méthode AMDEC facilite l'identification des causes de la non-conformité du produit/processus.

Ainsi, l'obtention de ce multiple objectif de formalisation et d'intégration requiert le développement des actions suivantes :

- la modélisation de chaque méthode qualité à partir de sa description textuelle ou normative qui décrit les principes de la méthode qualité (identifier les concepts les plus essentiels de la méthode). La modélisation est réalisée en reprenant les principes suivis pour modéliser le processus qualité au niveau tactique.
- l'intégration des méta-modèles d'objets supports des méthodes qualité au méta-modèle initial. L'intégration se réalise à travers les objets en intersection des différents méta-modèles.

Dans le domaine qualité, le nombre de méthodes et méthodologies étant assez vaste (voir chapitre II), nous proposons à ce stade de modéliser et d'intégrer au méta-modèle support de la méthodologie des concepts qualité extraits des méthodes suivantes : AMDEC, MSP, Poka-yoké et Analyse Préliminaire des Risques (APR). Ceci se justifie prioritairement par

rapport au contexte initial ALSTOM-Moteurs. En effet, les méthodes AMDEC et MSP étaient déjà utilisées sur le site de Nancy et l'APR et le Poka-yoké étaient souhaités dans le guide pour favoriser une évolution de leurs approches vers une amélioration continue des processus dès les phases de conception (i.e. éliminer des risques, des erreurs de manipulation, ...).

II.2.1. Modélisation de la méthode AMDEC

L'Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leur Criticité (AMDEC) est une méthode d'analyse de la fiabilité qui permet de recenser les modes de défaillances fonctionnelles et techniques, dont les conséquences affectent le fonctionnement du système dans le cadre d'une application donnée [CEI 1985]. Elle permet initialement pour un composant, à partir des causes (événements déclenchants) liées à un mode de défaillance, d'évaluer les effets de ce mode sur le composant en lui-même mais aussi sur la fonction qu'il assure et son environnement puis de déterminer la criticité du mode. Ainsi, cette méthode sert à :

- évaluer les effets et la séquence des événements provoqués par chaque mode de défaillance connu,
- déterminer l'importance ou la criticité de chaque mode de défaillance compte tenu de son influence sur le fonctionnement normal du système ou sur son niveau de performance,
- classer les modes de défaillance connus suivant la facilité avec laquelle on peut les détecter.

À partir du texte normatif [CEI 1985] qui décrit la méthode AMDEC, et en reprenant le principe de modélisation suivi dans la section précédente (II.1), nous avons modélisé des concepts qualité de cette méthode qui sont représentés par des méta-classes. Les relations entre ces concepts sont aussi déterminées à partir du texte normatif.

Nous présentons, par exemple, quelques unes des phrases élémentaires extraites du texte normatif d'AMDEC :

- « Une cause de défaillance est une anomalie initiale entraînant le mode défaillance »
- « Le mode de défaillance est provoqué par de (s) cause(s) »
- « Les modes de défaillance au niveau inférieur peuvent devenir les causes de défaillance au niveau supérieur »
- « La cause est éliminée par des actions (action corrective, action préventive) »

A partir de ces phrases nous créons, par exemple :

- les méta-classes « Action », « Cause » et « Mode de défaillance »,
- deux méta-classes sous-types de la méta-classe « Action » qui sont : les méta-classes « Action préventive » et « Action corrective »,
- les relations d'association entre ces différentes méta-classes,
- la caractérisation de chacune des méta-classes par un ensemble d'attributs.

Nous pouvons souligner après formalisation de l'AMDEC que :

- une *Effet* dans l'AMDEC est équivalente à la *Non-conformité* dans la norme ISO9000:2000
- une *Cause* dans l'AMDEC est équivalente à la *Cause* dans la norme ISO9000:2000
- une *Action* dans l'AMDEC est équivalente à l'*Action* dans la norme ISO9000:2000

Ainsi, sur la base de ces phrases élémentaires, et modélisant des autres concepts qualité, extrayant d'autres phrases et définition du texte normatif d'AMDEC, le méta-modèle résultant est un méta-modèle d'objets support de la méthode AMDEC (Figure 40).

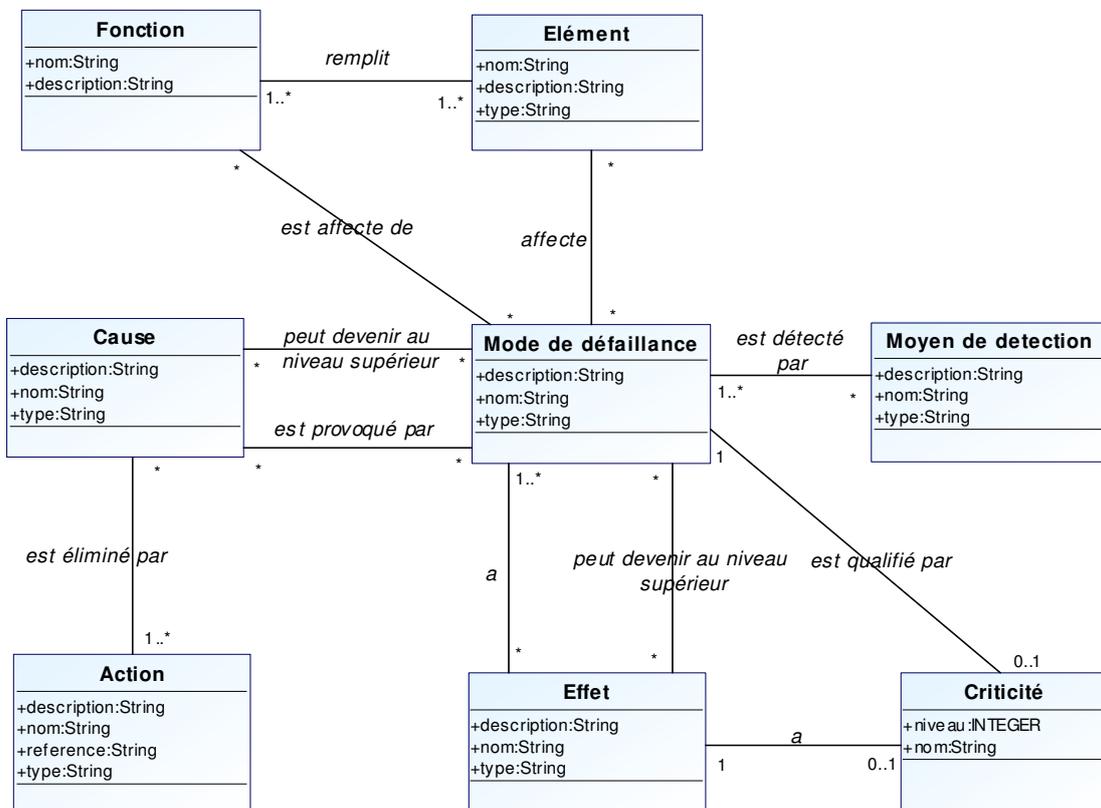


Figure 40. Méta-modèle d'objets support de la méthode AMDEC

Cette partie du processus qualité extraite de la méthode AMDEC est supportée par un modèle d'activité. Ce modèle explique les activités à réaliser pour exploiter les différents concepts extraits de cette méthode dans notre approche proposée comme l'illustre la Figure 41.

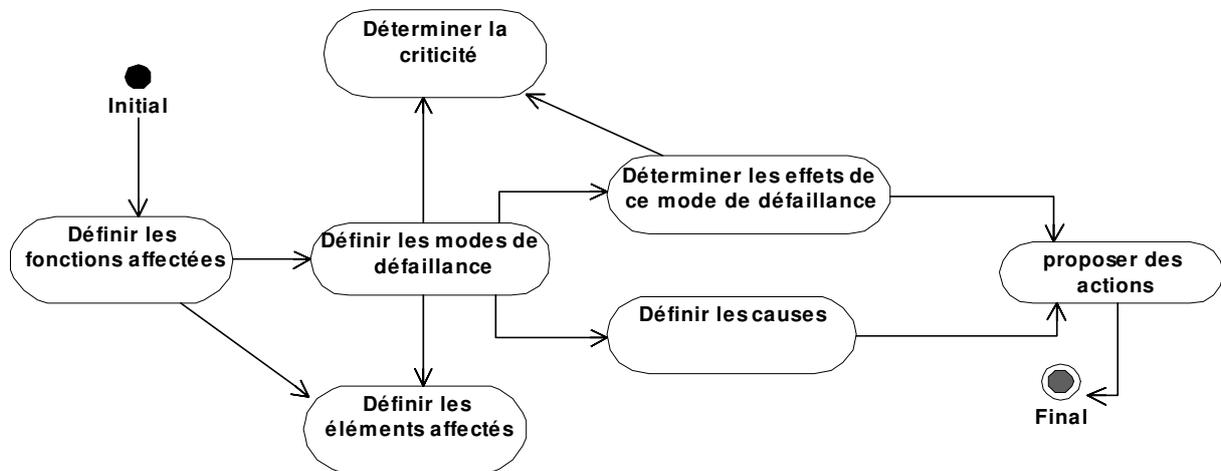


Figure 41. Modèle d'activités support de la méthode AMDEC

II.2.2. Modélisation de la méthode MSP

La Maîtrise Statistique de Processus (MSP) est un ensemble d'actions pour évaluer, régler et maintenir un processus de production en état de fabriquer tous ses produits conformes aux spécifications retenues et surtout avec des caractéristiques stables dans le temps. C'est une méthode préventive qui vise à amener le processus au niveau de qualité requis et à l'y maintenir grâce à un système de surveillance (carte de contrôle) qui permet de réagir rapidement et efficacement à toute dérive en évitant ainsi la production massive de non conformités [Afnor 1996]. En effet la méthode MSP a pour but de : mieux connaître le processus et ses causes de variation, diminuer le taux de non-conformité, stabiliser les variations du processus, améliorer le processus, ...

Toujours sur les mêmes principes de modélisation, nous avons extrait, à partir du document [Afnor 1996], des phrases élémentaires qui décrivent les concepts MSP qualité essentiels. Nous présentons, par exemple, les phrases suivantes :

- « *La non-conformité a des causes* »
- « *Une Cause de non-conformité est éliminée par des actions telles que action corrective, action préventive* »
- « *Une carte de contrôle qui est supportée par une surveillance évalue une non-conformité* »

A partir de ces phrases nous créons, par exemple :

- les méta-classes « Action », « Cause », « Non-conformité », « Carte de contrôle » et « Surveillance »,
- deux méta-classes sous-types de la méta-classe « Action » qui sont : les méta-classes « Action préventive » et « Action corrective »,
- les relations d'association entre ces différentes méta-classes,
- la caractérisation de chacune des méta-classes par un ensemble d'attributs.

Nous définissons par interprétation de la méthode MSP que :

- une *Non-conformité* dans la MSP est équivalente à la *Non-conformité* dans la norme ISO9000:2000,
- une *Cause* dans la MSP est équivalente à la *Cause* dans la norme ISO9000:2000,
- une *Action* dans la MSP est équivalente à l'*Action* dans la norme ISO9000:2000,
- une *Caractéristique qualité*, une *Mesure*, une *Observation*, et un *Essai* sont équivalents aux *Caractéristiques qualité*, *Mesure*, *Observation*, un *Essai* dans la norme ISO9000:2000.

Les phrases élémentaires nous ont ainsi permis de modéliser les objets : « Cause », « Action », « Non-Conformité », « Exigences », « Caractéristique qualité », « Produit », « Processus », etc. qui sont représentés par des méta-classes. Les relations entre ces concepts sont aussi déterminées à partir du texte normatif. La Figure 42 présente le méta-modèle résultant qui contient tous les concepts qualité modélisés support de cette méthode qualité.

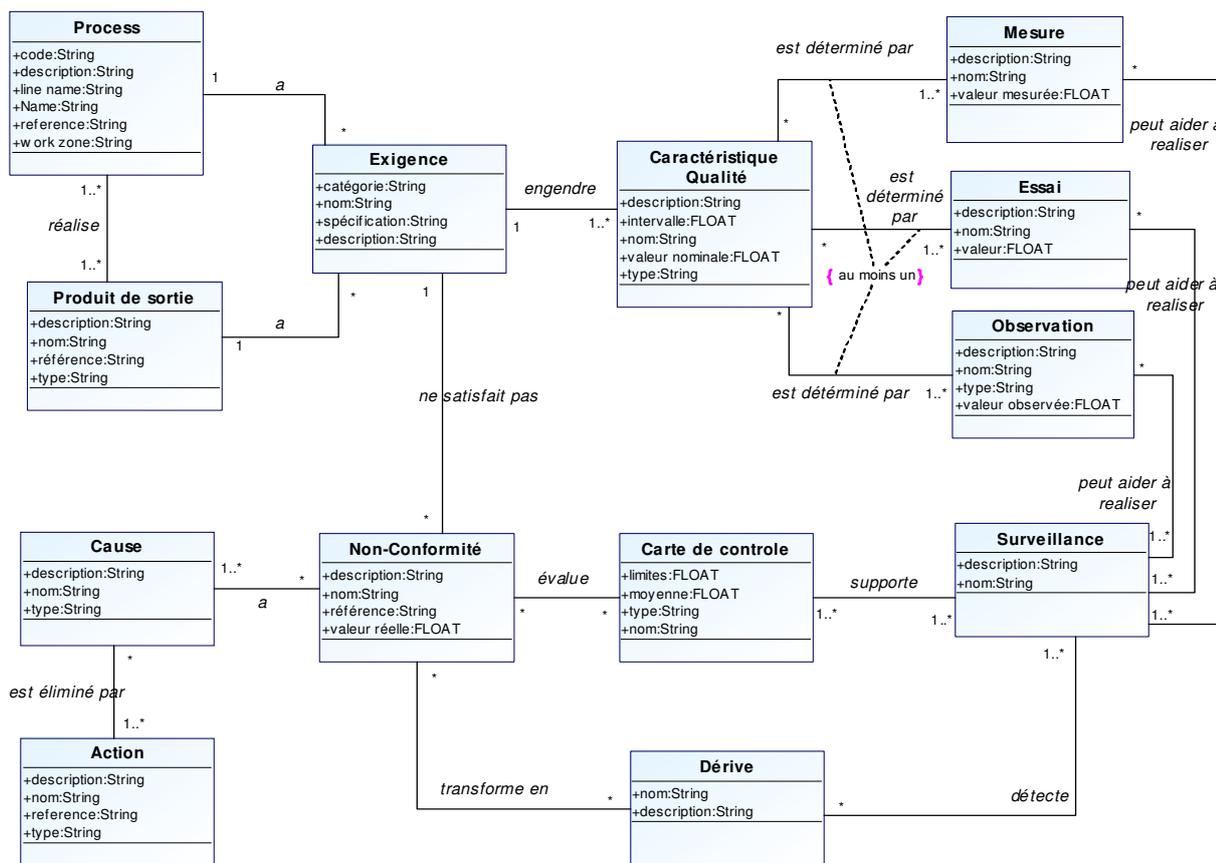


Figure 42. Méta-modèle d’objets support de la méthode MSP

Dans cette approche, la partie du processus qualité, extrait de la méthode MSP, est supportée par un modèle d’activités qui décrit le séquençement des activités pour mener à bien la méthode MSP (Figure 43).

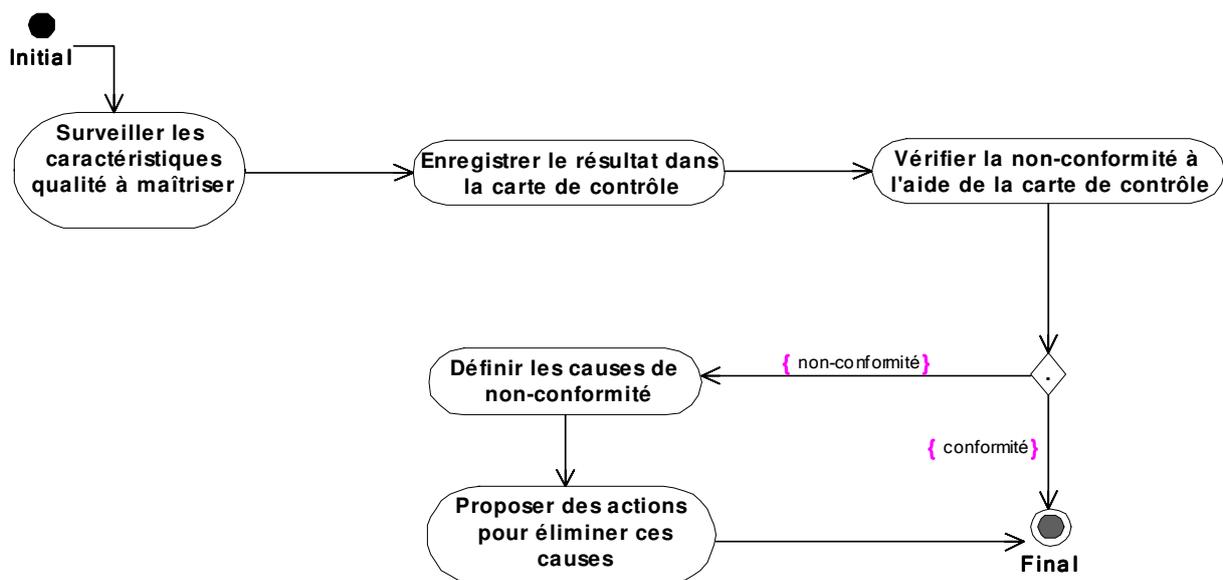


Figure 43. Modèle d’activités support de la méthode MSP

II.2.3. Modélisation de la méthode Poka-yoké

En japonais, « Poka » signifie erreur et « Yoké » suppression ou élimination. Donc l'expression Poka-Yoké peut être traduit par : la suppression des erreurs. Cette méthode est connue comme une méthode anti-erreurs qui peut se présenter sous plusieurs formes, telles que :

- un système tout ou rien autorisant uniquement la position admise en production,
- un système de comptage pour garantir qu'aucun élément n'a été omis,
- un système séquentiel garantissant l'exécution dans l'ordre défini de la gamme opératoire.

La méthode Poka-yoké s'applique principalement durant la production pour une amélioration continue du processus de production. Elle vise à protéger la production des défauts en empêchant qu'une erreur devienne un défaut. Pratiquement, il s'agit de concevoir et de mettre en place des détrompeurs empêchant les erreurs. Ainsi, cette méthode fait la différence entre erreur et défaut et met en œuvre des solutions sur place avec des appareils simples et peu coûteux pour éliminer les erreurs.

Comme dans les deux méthodes qualité déjà modélisées, nous avons extrait à partir du document [Shingo 1987] des phrases élémentaires et des définitions. Nous présentons, par exemple, les phrases élémentaires suivantes :

- « *Un défaut est dû à une erreur* »
- « *L'erreur est la cause d'un défaut* »
- « *Déterminer les causes d'erreur* »
- « *Les erreurs peuvent être des erreurs humaines ou sont des erreurs de processus* »

A partir de ces phrases nous créons, par exemple :

- les méta-classes « Erreur », « Défaut » et « Cause d'erreur »,
- deux méta-classes sous-types de la méta-classe « Erreur » qui sont : les méta-classes « Erreur humaine » et « Erreur processus »,
- les relations d'association entre ces différentes méta-classes,
- la caractérisation de chacune des méta-classes par un ensemble d'attributs.

Nous pouvons souligner après formalisation du Poka-yoké que :

- un *Défaut* dans la méthode Poka-yoké est équivalent à la *Non-conformité* dans la norme ISO9000:2000
- une *Erreur* dans la Poka-Yoké correspond à une *Cause* dans la norme ISO9000:2000
- une *Action* dans la méthode Poka-yoké est équivalente à l'*Action* dans la norme ISO9000:2000

Ainsi, des phrases élémentaires nous ont permis de modéliser d'autres concepts qualité. Donc, le méta-modèle support de la méthode Poka-yoké est représenté dans la Figure 44.

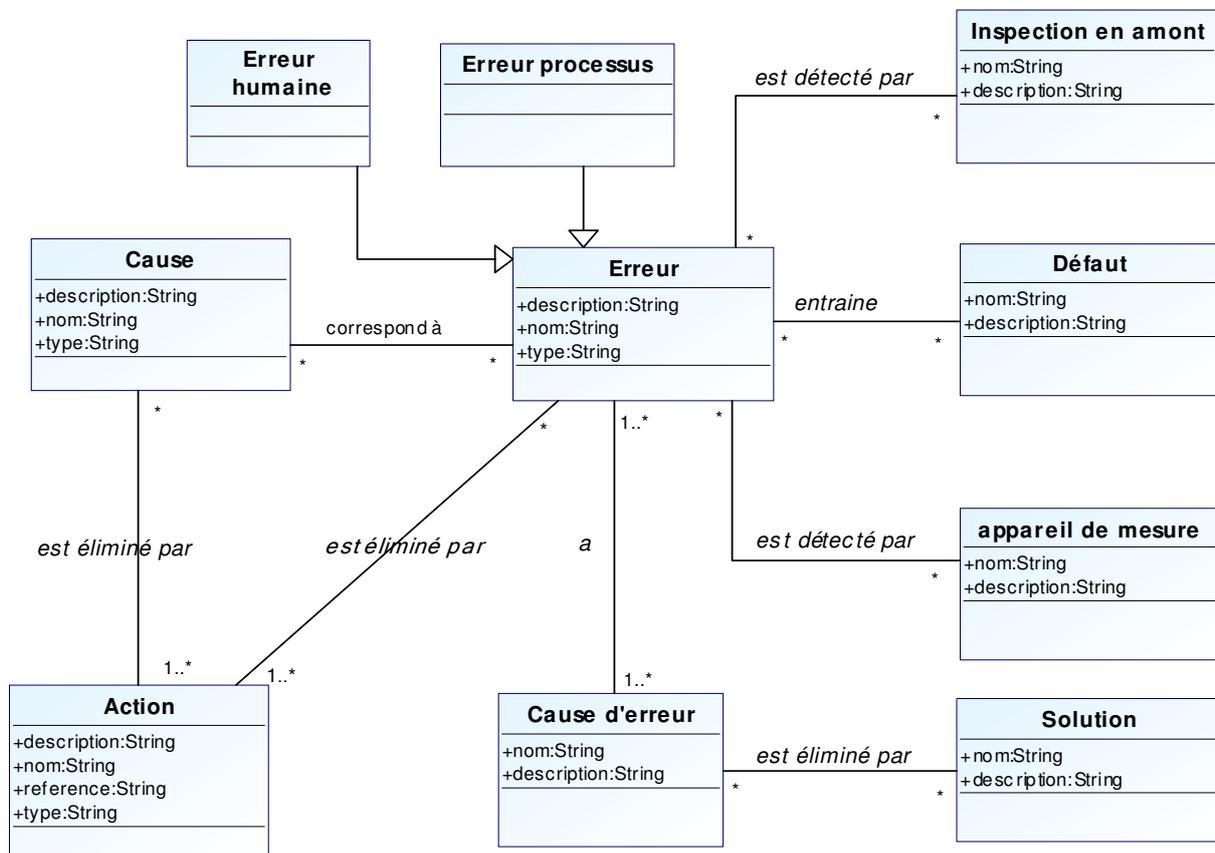


Figure 44. Méta-modèle d'objets support de la méthode Poka-Yoké

En plus de ces concepts qualité qui supportent le processus qualité au niveau opérationnel, un modèle d'activités est réalisé dans l'objectif d'exprimer comment utiliser ces concepts dans notre approche qualité (Figure 45).

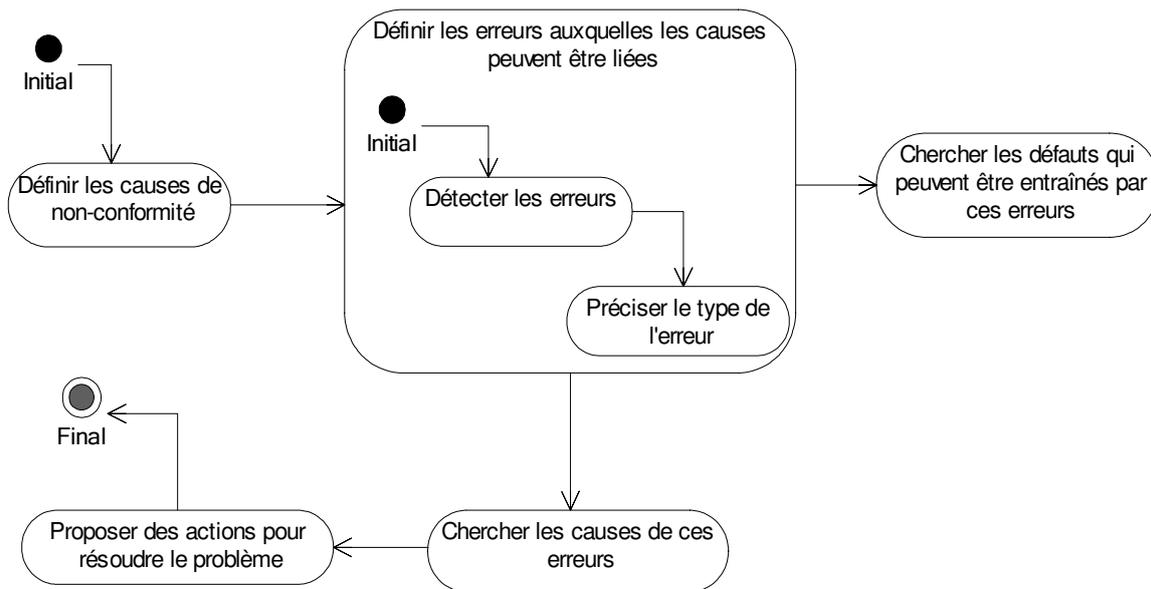


Figure 45. Modèle d'activités support de la méthode Poka-Yoké

II.2.4. Modélisation de la méthode APR

L'Analyse Préliminaire des Risques (APR) est une méthode d'identification et d'évaluation des risques d'un système. Cette méthode est applicable dès les premières phases de la conception du système et elle est mise à jour jusqu'à sa fin de vie. La méthode APR commence par l'identification des fonctions et/ou des éléments dangereux, des situations dangereuses, ainsi que des accidents potentiels du système. Elle peut être réalisée à travers un tableau d'ARP ou une matrice d'identification des événements redoutés.

Ainsi, à partir du document [Cherfi 2002], et en reprenant le principe de modélisation suivi dans la section précédente (II.1), nous modélisons des concepts qualité de cette méthode. Nous présentons, par exemple, quelques unes des phrases élémentaires qui décrivent cette méthode :

- « *Les événements redoutés pouvant être générés du fait de l'existence de fonction et/ou d'éléments dangereux dans le système ou de situation dangereuses provoquées par le système* »
- « *Un accident potentiel résulte de l'occurrence d'une situation dangereuse et/ou d'un événement redouté* »
- « *Une situation dangereuse peut être transformée en accident potentiel* »

A partir de ces phrases élémentaires nous créons, par exemple :

- les méta-classes « Événement redouté », « Fonction dangereuse », « Eléments dangereux », « Accident potentiel » et « Situation dangereuse »,
- les relations d'association entre ces différentes méta-classes,
- la caractérisation de chacune des méta-classes par un ensemble d'attributs.

Nous définissons par interprétation de la méthode APR que :

- le résultat d'un événement redouté dans APR correspond à la *Non-conformité* dans la norme ISO9000:2000
- un *Evénement redouté* dans APR correspond à la *Cause* dans la norme ISO9000:2000
- une *Action* dans APR correspond à l'*Action* dans la norme ISO9000:2000

Ainsi, les concepts qualité extraits de cette méthode [Cherfi 2002] sont représentés dans la Figure 46 qui matérialise le méta-modèle d'objets support de la méthode APR.

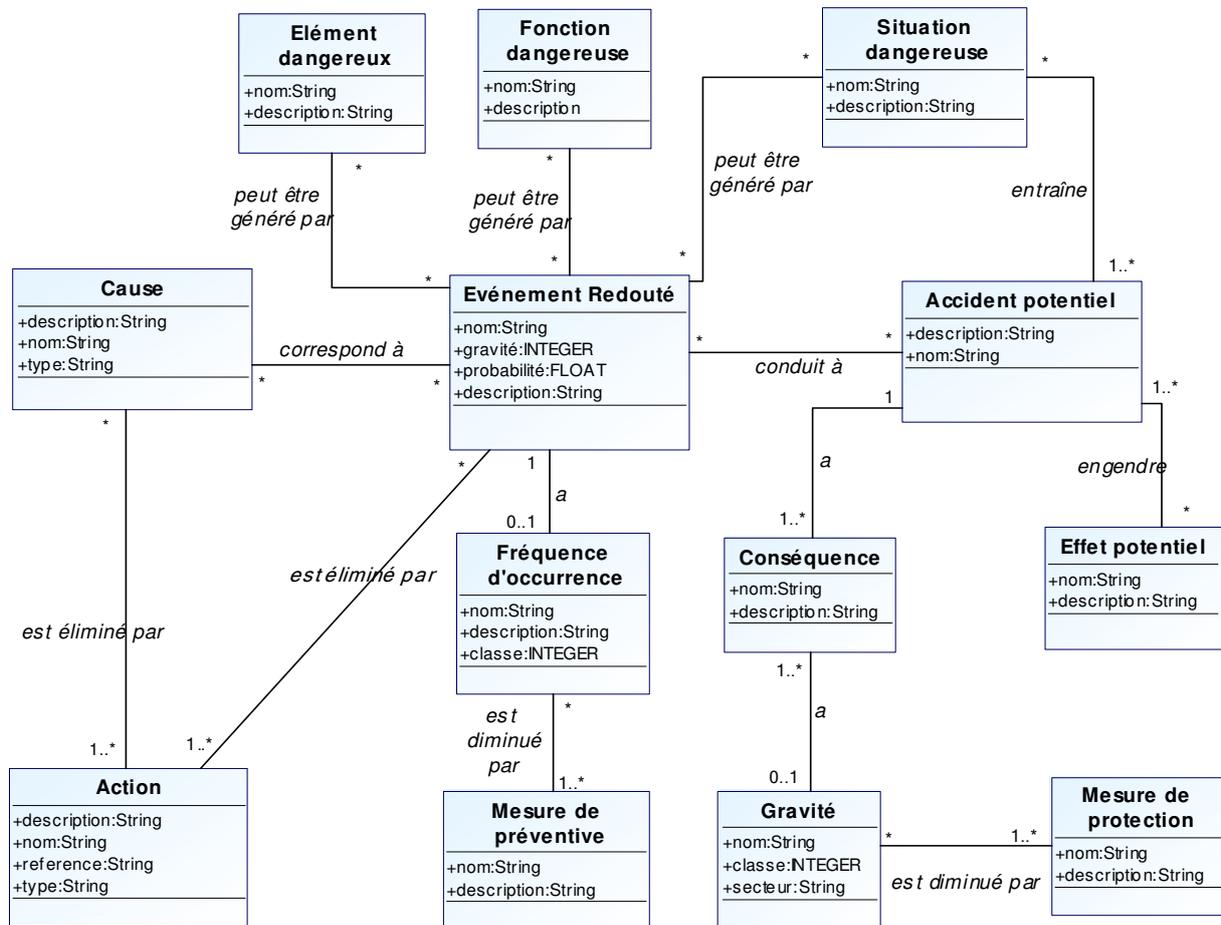


Figure 46. Méta-modèle d'objets support de la méthode APR

Cette partie du processus qualité extraite de la méthode APR est supportée par un modèle d'activités (Figure 47) qui séquence les activités qui peuvent être exploitées durant l'utilisation de cette méthode APR.

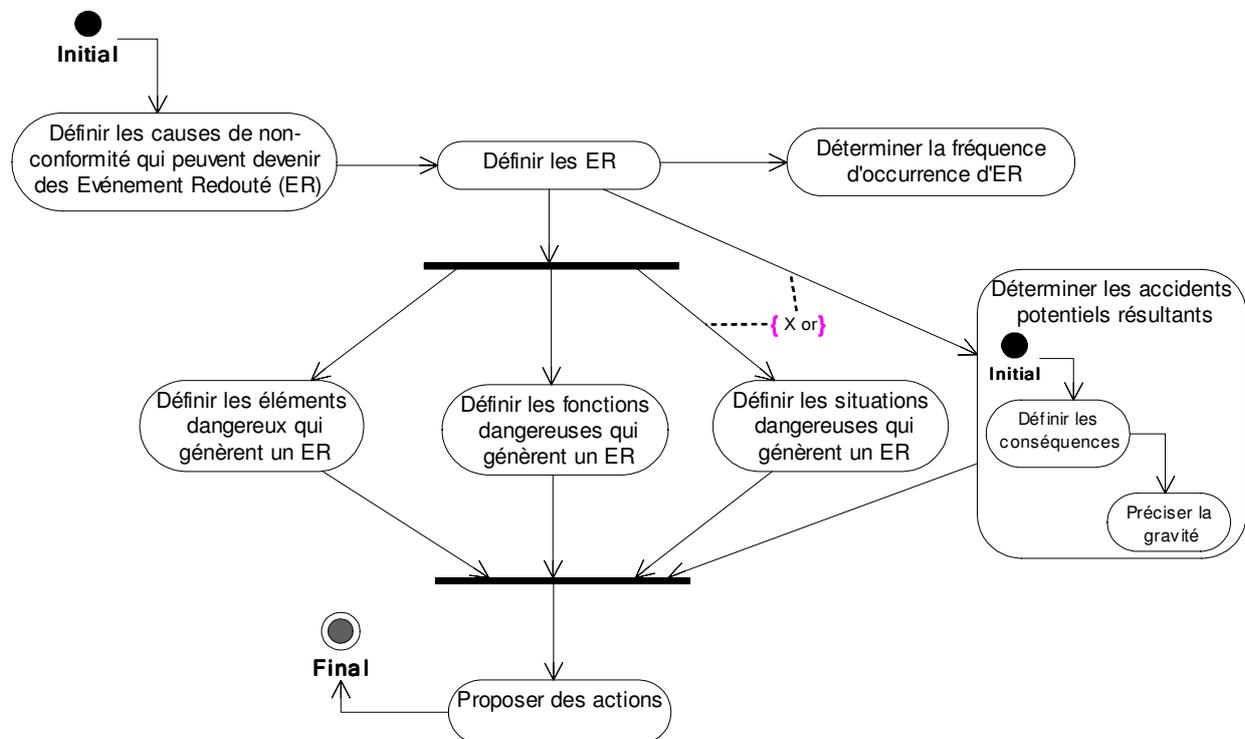


Figure 47. Modèle d'activités support de la méthode APR

En utilisant le même principe de méta-modélisation que celui proposé dans cette thèse, nous pouvons modéliser d'autres concepts qualité issus des méthodes et outils qualité qui se basent sur des documents descriptifs (textuels ou normatifs).

II.2.5. Interdépendance entre les méthodes qualité et la méthodologie (en cohérence avec le TQM)

À partir des méta-modèles préalablement réalisés, notre objectif est d'intégrer ces quatre méta-modèles qui supportent les méthodes qualité dans le méta-modèle support de la méthodologie (chapitre III, § II.1). Cette intégration permet, comme nous l'avons indiqué, d'étendre le processus qualité vers le niveau opérationnel et de formaliser l'interdépendance entre la méthodologie et les méthodes qualité dans le cadre du TQM [Deeb 2007a]. L'intégration de ces différents méta-modèles se base sur la recherche de l'intersection entre les méta-modèles et donc une mise en commun des objets. En prenant l'exemple du

méta-modèle support de l'AMDEC, les objets « Cause » et « Action » notamment sont communs au méta-modèle support de la méthodologie. Ainsi, cette démarche d'intégration requiert une connaissance importante des méthodes à intégrer, que nous avons acquise grâce à la modélisation précédemment effectuée, et nécessite également une capacité à pouvoir identifier les objets partageables permettant la mise en relation des méta-modèles. En effet, les méta-modèles supports des méthodes qualité ne sont pas « pauvres » sémantiquement comme peuvent l'être certains schémas de données (il s'agit de méthodes métiers à fort contenu sémantique). Cela a exigé d'adopter une stratégie d'intégration binaire (intégration des méta-modèles deux à deux : méta-modèle support d'une méthode qualité avec le méta-modèle support de la méthodologie) dans l'objectif de simplifier l'intégration requise. Pour ce faire, nous avons mis en évidence, pendant l'explication de la méta-modélisation des méthodes qualité, les objets communs (équivalent) entre chaque méta-modèle support d'une méthode qualité et le méta-modèle support de la méthodologie. Ainsi, en se basant sur cette intégration binaire et en regardant les différents méta-modèles, nous avons mis en commun un ensemble d'informations (données) manipulées par les divers méta-modèles concernés. Ces informations manipulées par les modèles font nécessairement partie du noyau d'informations communes [Panetto 1991]. Cette intégration nous a permis d'obtenir un méta-modèle global support de l'approche qualité en support du « core value » fixé. En conséquence, nous avons identifié parmi ces différents méta-modèles que les objets communs sont principalement : « Cause » et « Action ». Le principe de l'intégration entre les différents méta-modèles est donné par la Figure 48.

En général les indicateurs qui sont un des objectifs de l'audit qualité interne, permettent d'évaluer le degré de satisfaction de ce « core value ». L'indicateur qualité est défini par la norme DF X50-171 [DF X50 2000] comme étant « une information choisie, associée à un phénomène, destinée à en observer périodiquement les évolutions au regard d'objectifs qualité ». Il a pour objectif de piloter les processus, de maîtriser la qualité des produits, de définir des activités pour améliorer la qualité, et de s'assurer de la satisfaction des clients [Forest 2006]. Cependant, un indicateur n'a de valeur que s'il est associé à d'autres indicateurs. En effet, comme le préconisent [Mallet 2004], [DF X50 2000], c'est l'analyse de l'ensemble des indicateurs qui importe pour l'obtention d'une bonne exhaustivité de la situation. Ainsi, l'exploitation des indicateurs qualité fait l'objet de révisions de la démarche qualité appliquée. Ils mettent en évidence « où sont les problèmes », font émerger les « points d'incendie », et parfois le caractère récurrent d'un problème. En général, les indicateurs qualité sont classés en deux types [DF X50 2000], [Zeghib 2004] :

- indicateurs de résultat (produit) : se réfèrent à la qualité du produit et de la prestation, ce type d'indicateur indique une valeur à un moment donné et reflète la réalité,
- indicateurs de processus : mesures qui donnent l'ensemble des activités à mettre en œuvre pour atteindre un objectif déterminé, sur une période déterminée. Il est évident que les informations contenues dans les indicateurs de processus peuvent faciliter l'interprétation des indicateurs de produits. Ce lien n'est pas à négliger.

Selon la norme [DF X50 2000] et [Devillers 2004], l'indicateur retenu doit avoir certaines propriétés : fiable, représentatif, facile à établir, fournit une information juste, et compatible avec les autres indicateurs proposés. Ces indicateurs se créent à partir de différentes méthodes de construction [Villalonga 2003] qui présentent toutes le même squelette tel qu'il est exposé dans la norme DF X 50-171. Ces étapes de construction sont les suivantes :

- Étape (1) : cibler le champ de mesure, c'est-à-dire le cadre et les limites dans lesquels l'indicateur sera appliqué,
- Étape (2) : définir les objectifs.
- Étape (3) : étudier les variables mesurables en fonction des objectifs définis précédemment. La question qui se pose est : " Que peut-on suivre pour savoir où en est l'objectif ? "
- Étape (4) : une fois les variables trouvées, il faut définir les paramètres (les caractéristiques permettant de quantifier les variables).

- Étape (5) : il faut être le plus créatif possible pendant cette étape. Il faut proposer le mode de calcul de l'indicateur proposé.
- Étape (6) : aborder la phase de validation.

Donc pour chaque indicateur il faut définir un libellé, un objectif, une variable, un mode de calcul et des seuils limites inférieur et supérieur.

Ainsi, en se basant sur les étapes de construction d'un indicateur qualité proposées par la norme DF X50-171 et en respectant les deux dernières remarques, nous proposons de modéliser plusieurs indicateurs qualité relatifs à notre méthodologie proposée (en cohérence avec le TQM et les besoins d'ALSTOM-Moteurs). Pour faciliter leur lecture et leur compréhension, ces indicateurs sont présentés dans le tableau de la Figure 49.

Ces indicateurs sont attachés au « core value » de maîtrise et d'amélioration conjointe de la qualité du produit et de la qualité de ses processus de production. Ce « core value » est lié directement aux concepts qualité qui permettent de déterminer les causes des non-conformités du produit ou/et du processus et de définir les actions correctives et préventives qui éliminent ces causes. Donc les indicateurs proposés sont liés à des concepts qualité qui répondent à ce « core value » tels que : « Produit », « Processus », « Exigences produit », « Exigences processus », « Caractéristique qualité », « Non-conformité », « Cause » et « Action ».

En effet, la proposition des indicateurs qualité a pour objectif de montrer le principe de création des indicateurs dans une approche générique. Il est évident que les indicateurs liés à notre approche ne sont pas limités au nombre de huit. Donc, d'autres indicateurs seraient nécessaires dans une vision plus complète, voire exhaustive, de l'évaluation de l'approche qualité générique.

Figure 49. Une fiche d'identité des indicateurs qualité proposés

Nom de l'indicateur	Entité (concept)	Champ de la mesure	Objectif	Critère	Paramètre	Mode de calcul	Poids
Indic1 : Indicateur des exigences du produit	Produits de sortie	Produit	Vérifier si le produit de sortie est lié aux exigences de (temps, forme et/ou espace)	Chaque produit de sortie doit avoir au minimum deux exigences de ces trois types	1- Nombre total de produits de sortie (A) 2- Nombre de produits de sortie qui ont au moins deux types d'exigence (B)	Pourcentage = $(B/A) * 100$	1
Indic2 : Indicateur des caractéristiques du produit	Exigence produit	Produit	Vérifier si les exigences du produit engendrent des caractéristiques qualité	Chaque exigence du produit doit être liée au minimum à une caractéristique qualité	1- Nombre total d'exigences du produit (A) 2- Nombre d'exigences des produits qui sont liées aux caractéristiques qualités (B)	Pourcentage = $(B/A) * 100$	1
Indic3 : Indicateur des caractéristiques du processus	Exigence processus	Processus	Vérifier si les exigences du processus engendrent des caractéristiques qualité	Chaque exigence du processus doit être liée au minimum à une caractéristique qualité	1- Nombre total d'exigences du processus (A) 2- Nombre d'exigences des processus qui sont liées aux caractéristiques qualités (B)	Pourcentage = $(B/A) * 100$	1
Indic4 : Indicateur de test des caractéristiques	Caractéristique qualité	Produit / Processus	Vérifier si la caractéristique qualité est testée	Chaque caractéristique qualité doit être rattachée à un essai, mesure, ou observation	1- Nombre total de caractéristiques qualité (A) 2- Nombre de caractéristiques qualité qui sont liées au moins aux (essai, mesure, ou observation) (B)	Pourcentage = $(B/A) * 100$	2
Indic5 : Indicateur du traitement de la non-conformité	Non-conformité	Produit / Processus	Vérifier le traitement de la non-conformité	Chaque non-conformité doit être liée à une correction ou à un rebut	1- Nombre total de non-conformités (A) 2- Nombre de non-conformités qui sont liées au moins aux (correction ou rebut) (B)	Pourcentage = $(B/A) * 100$	1
Indic6 : Indicateur des causes de la non-conformité	Non-conformité	Produit / Processus	Vérifier les causes de la non-conformité	Chaque non-conformité doit être liée au minimum à une cause	1- Nombre total de non-conformités (A) 2- Nombre de non-conformités qui sont liées aux causes (B)	Pourcentage = $(B/A) * 100$	3
Indic7 : Indicateur des actions correctives	Cause de la non-conformité	Produit / Processus	Vérifier l'élimination des causes par des actions correctives	Chaque cause doit être liée à une action corrective	1- Nombre total de causes (A) 2- Nombre de causes qui sont liées aux actions correctives (B)	Pourcentage = $(B/A) * 100$	3
Indic8 : Indicateur des actions préventives	Cause de la non-conformité	Produit / Processus	Vérifier l'élimination des causes par des actions préventives	Chaque cause doit être liée à une action préventive	1- Nombre total de causes (A) 2- Nombre de causes qui sont liées aux actions préventives (B)	Pourcentage = $(B/A) * 100$	3

Ainsi, en lien avec la méthodologie proposée, nous avons créé un ensemble de départ de huit indicateurs qualité répondant à l'évaluation initiale de la situation ALSTOM-Moteurs menée dans la phase « 2 » (identifier les problèmes sur la qualité produit/processus).

Par rapport au classement en deux types des indicateurs, ces huit indicateurs qualité se référant au « core value » ciblé sont liés soit au produit, soit au processus, soit encore au produit et au processus simultanément. Le tableau (Figure 49) peut être considéré comme une fiche d'identité de l'ensemble des indicateurs proposés. Cette fiche permet aux différents utilisateurs de notre approche d'avoir le même cadre de référence sur le mode de calcul, sur ce qu'il faut vérifier, et dans quel objectif.

Par conséquent, pour évaluer le niveau de maîtrise de la connaissance développée dans le modèle spécifique, c'est l'analyse de l'ensemble des indicateurs qui permettra cette évaluation à la fin de la phase d'instanciation du méta-modèle support de la méthodologie qualité (en cohérence avec le TQM). Cette analyse de l'ensemble des indicateurs exige la proposition d'un mode de calcul de ces indicateurs. En ce qui concerne ce mode de calcul, pendant la création de l'indicateur qualité, plusieurs formes ont été utilisées [DF X50 2000], [Villalonga 2003]: ratio, pourcentage, nombre, rendement, taux, échelle de valeurs, ... [Fernandez 2000] a déclaré qu'il est préférable de construire des indicateurs qui ont un intervalle de valeurs ou une échelle qualitative car des valeurs trop précises encourageraient l'utilisateur à se concentrer sur la valeur et non sur sa signification dans une perspective globale. [Devillers 2004] précise que parfois, et en fonction de l'importance de l'indicateur proposé, le concepteur peut donner un poids à l'indicateur proposé lors de sa création. Dans ce sens nous proposons une échelle de poids pour estimer le degré d'importance de nos indicateurs par rapport à notre objectif d'améliorer et de maîtriser conjointement la qualité du produit et la qualité du processus.

Degré d'importance	Poids
Moyen	1
Important	2
Très important	3

Ainsi, pour le calcul final de tous les indicateurs proposés et qui n'ont pas nécessairement le même degré d'importance, nous avons affecté à chacun un poids différent dépendant du concept qualité qui lui est lié. En conséquence, nous avons donné des poids 'importants' à ces indicateurs : Indic 6, Indic 7 et Indic 8, car ils sont liés aux concepts qui sont les plus pertinents pour atteindre notre objectif.

Donc, pour calculer le résultat final de l'évaluation de notre approche, nous proposons la formule suivante qui permet d'analyser l'ensemble des indicateurs proposés :

$$\text{Phase d'Évaluation (PE)} = (\text{Indic1} \times 1 + \text{Indic2} \times 1 + \text{Indic3} \times 1 + \text{Indic4} \times 2 + \text{Indic5} \times 1 + \text{Indic6} \times 3 + \text{Indic7} \times 3 + \text{Indic8} \times 3) / \text{somme des poids} \ll 15 \gg$$

Au final pour cette phase d'évaluation nous avons proposé une échelle de valeurs pour estimer le degré de satisfaction du « core value » ciblé (niveau de maîtrise de la connaissance développée dans le modèle spécifique):

Phase d'Évaluation (PE)	Niveau de maîtrise de la connaissance développée dans le modèle spécifique
0 → 50	Faible
50 → 70	Moyen
70 → 90	Elevé
90 → 100	Très élevé

En conclusion, chaque indicateur qualité proposé a un objectif à satisfaire. La satisfaction est précisée à travers la valeur de cet indicateur. Le calcul de l'ensemble de ces indicateurs, à travers la formule précédemment introduite, donne une idée du niveau de satisfaction du « core value » avant d'utiliser l'approche qualité proposée. Bien évidemment, plus la **PE** est proche de 100%, plus le degré de maîtrise de la méthodologie sur l'approche menée est considéré comme « meilleure ». Autrement dit, quand cette évaluation est inférieure à 100%, le « core value » ciblé n'est pas entièrement satisfait et l'ingénieur devrait amender (si besoin) le modèle instancié en recomplétant son socle de connaissance, lié au produit ou au processus de production (pour faire progresser son niveau de maîtrise et d'amélioration).

III. Conclusion

Nous avons proposé dans ce chapitre une approche générique (guide qualité) du processus qualité restreint aux activités essentielles support au « core value » ciblé en cohérence avec une démarche TQM globale (interdépendance entre les trois composants « core value », méthodologie, méthodes/outils). Le « core value » ciblé est de mieux maîtriser et d'améliorer conjointement la qualité du produit et la qualité des processus de production.

Dans notre contexte, ce processus qualité est centré sur le niveau tactique en lien avec les niveaux stratégique et opérationnel en entreprise. Cette approche se base ainsi sur trois phases principales : premièrement, la formalisation des concepts du processus qualité au niveau tactique en lien avec le niveau stratégique. Deuxièmement, la modélisation de l'extension du processus qualité vers le niveau opérationnel. Finalement, la modélisation des indicateurs qualité dans l'objectif d'évaluer l'approche qualité (phase d'évaluation).

Les différentes étapes de modélisation sont réalisées à l'aide du langage de modélisation UML en utilisant la technique de "méta-modélisation". Ces étapes de modélisation sont positionnées de façon structurée dans le cadre de modélisation Zachman.

Cette approche qualité se veut utilisable depuis la phase de conception jusqu'à la phase d'exploitation d'un processus qualité particulier. En ce sens dans le chapitre suivant, nous allons porter cette approche sur un outil (MEGA Suite) afin de l'automatiser et donc de la rendre exploitable par des personnes métiers de la qualité. De plus, nous proposons dans le chapitre IV une première expérimentation de l'approche au cas d'un processus manufacturier afin d'en montrer la faisabilité. En effet, tous les modèles proposés soulèvent un problème majeur lié à leur validation, un degré de confiance que nous pouvons leur accorder.

Chapitre 4 : Vers une automatisation ... et une faisabilité de l'approche qualité

I. Introduction

Le chapitre III nous a permis de définir les fondements de notre contribution qui se base sur la proposition d'une approche générique qualité qui formalise un processus qualité sur les différents niveaux structurels de l'entreprise en cohérence avec le « core value » TQM considéré. L'objectif de « core value » est de maîtriser et d'améliorer conjointement la qualité de produit et la qualité des processus de production.

Sur cette base générique, l'objectif de ce chapitre est de mettre en évidence l'utilisation de notre approche depuis la phase de conception, à travers une phase d'instanciation des méta-modèles, jusqu'à la phase d'exploitation, à travers l'accès à des pages Web. Pour faciliter cette utilisation par des spécialistes qualité (non nécessairement spécialistes modélisation), cette approche est supportée par l'outil MEGA Suite. Nous montrons alors, comment l'approche qualité est prise en compte dans l'environnement MEGA afin de disposer d'un prototype qui supporte notre approche (automatisation de l'approche qualité). Ensuite, pour positionner et structurer les différentes étapes de développement de l'approche qualité, réalisées dans le chapitre 3 et 4, nous avons intégré les différents modèles et procédures, résultant de ce développement, dans le cadre de modélisation de Zachman. Finalement, pour valider cette approche et montrer sa faisabilité nous proposons d'expérimenter notre approche sur un cas d'application manufacturier de type tournage, depuis la phase de conception jusqu'à la phase d'exploitation.

II. Automatisation de l'approche qualité

L'approche qualité proposée se veut utilisable depuis la phase de conception jusqu'à la phase d'exploitation d'un processus de maîtrise et d'amélioration de la qualité d'un produit/processus particulier. Dans la phase de conception, cette approche, par une phase d'instanciation des concepts qualité via le méta-modèle global (*le méta-modèle global est le méta-modèle résultant de l'intégration des différents méta-modèles d'objets supports de notre approche qualité*) aidera (guidera) l'ingénieur qualité à traduire ses exigences informelles en connaissances formalisées. Les phases de l'instanciation reposent sur des procédures directement issues des modèles d'activités. La connaissance encapsulée dans le modèle spécifique, résultant de l'ensemble des instances, sera ensuite stockée, en phase d'exploitation, dans une base de données pour être accessible dans un formalisme compréhensible par l'opérateur sur site via des pages Web. Ces informations, sur site, permettent de mieux suivre et d'anticiper en ligne les dérives qualité du produit/processus de production étudié (à maîtriser et/ou à améliorer). Pour supporter de façon cohérente l'ensemble des phases de la spécification du méta-modèle jusqu'à l'utilisation des données sur site, cette approche doit être outillée et automatisée.

II.1. Pourquoi automatiser ?

L'ingénieur qualité qui est chargé de fournir des démarches de maîtrise des processus de production pense toujours à l'automatisation de ces démarches pour mettre en œuvre une interface permettant l'intervention humaine [Domenc 1997]. De son côté, [Sangyoon 2004] a montré le manque de recherches concernant la façon dont les systèmes qualité peuvent être soutenus, plus efficacement, par un environnement automatisé pour améliorer leur productivité dans l'industrie. De même, l'agenda de la recherche stratégique dans le domaine de l'ingénierie des processus manufacturier en Europe [Manufuture 2006] a montré le besoin d'une méthodologie, basée sur la connaissance des processus manufacturiers, relative à un outil logiciel. L'objectif de cet outil est de fournir une interface avancée humain - méthodologie facilitant son utilisation.

Ainsi, pour répondre à ces besoins et supporter l'utilisation de notre approche qualité, nous en avons proposé une automatisation. Pour réaliser cette automatisation, nous avons tenu à respecter essentiellement un critère principal concernant l'outil d'automatisation : proposer un

outil facile d'utilisation et efficace. Cet outil doit supporter à la fois la sémantique et la syntaxe de l'approche proposée, c'est-à-dire, il doit être capable d'introduire les différents méta-modèles (données et traitement) supports de notre approche. De plus, compte tenu du volume important de données, l'exploitation de l'approche qualité sera plus facile sous forme graphique que, par exemple, sous formes des tableaux ou des matrices. Ainsi, un des critères lors du choix de l'outil était aussi qu'il propose une solution qui offre une visualisation graphique des informations aux différents acteurs (ingénieur et opérateur). Cette automatisation doit offrir à l'ingénieur, d'une part, dans la phase de conception, une meilleure aide en visualisant les différents concepts qualité permettant de saisir et de vérifier la connaissance qualité. D'autre part, dans la phase d'exploitation, elle doit offrir à l'opérateur une aide à la prise de décision, lors de la maîtrise et de l'amélioration de la qualité. En conclusion, les buts de l'automatisation de notre approche sont de :

- rendre notre approche accessible à quelqu'un qui n'est pas du domaine de modélisation à travers une interface graphique facile à utiliser,
- rendre accessible toutes les démarches et les règles de construction incluses dans les méta-modèles des données et d'activités (guide qualité),
- aider à garantir de façon cohérente l'utilisation de notre approche de la phase de conception jusqu'à la phase d'exploitation.

II.2. Quel outil pour automatiser et comment ?

Différents outils informatiques sont actuellement proposés sur le marché avec l'objectif de supporter l'automatisation et la modélisation des processus [Chelli 2003], [Sénéchal 2004], [Longépé 2001] (Figure 50).

EDITEUR	PRODUIT	SITE WEB
ARIS	Aris tools set	www.ids-scheer.com
MEGA	Mega process	www.mega.com
Casewise	Corporate modeler	www.casewise.com
Interfacing technologies	FirstSTEP process modeler	www.interfacing.com
BOC	ADONIS	www.boc-eu.com
Qualigram	Qualigram Designer	www.qualigram.com
C Log	OSS@D process Designer	www.c-log.com
Keyword	ISIMAN	www.keyword.fr

Figure 50. Outils informatiques pour supporter l'automatisation et la modélisation des processus

Parmi ces différents outils et compte tenu des besoins déjà introduits, nous avons choisi d'automatiser notre approche qualité à l'aide de l'outil *MEGA Suite* car il intègre un méta-modèle personnalisable qui s'adapte aux besoins spécifiques des utilisateurs. Ce méta-modèle est compatible avec les principaux standards du marché. L'intérêt de cet outil est sa généralité. L'ensemble de ses composants permet d'apporter une réponse à quasiment tous les besoins de l'entreprise, depuis la définition des objectifs stratégiques jusqu'à la mise en œuvre de projets informatiques.

MEGA est une suite logicielle qui est utilisée habituellement afin de gérer et modéliser les processus d'une entreprise. MEGA, édité par *MEGA International*, s'articule autour d'un référentiel qui regroupe trois produits d'analyse et de conception : MEGA Process (cartographier les chaînes de valeur de l'organisation), MEGA Architecture (cartographier et urbaniser les systèmes d'information) et MEGA Designer (réaliser la conception détaillée des systèmes et applications informatiques). Les différentes composantes de la suite MEGA sont organisées autour d'un référentiel unique, fournissant pour l'ensemble des produits MEGA (Process, Designer et Architecture) des services de stockage, de documentation, d'administration et de sécurité. MEGA est utilisable à travers des environnements de travail qui regroupent un ensemble d'utilisateurs, une base de données qui contient tous les éléments de MEGA, des descriptions d'objets, des dialogues, des requêtes, des documents, ... Ainsi, MEGA est architecturée autour de bases de données qui constituent les espaces de travail où les données de modélisation sont stockées. Plusieurs utilisateurs peuvent s'y connecter et travailler en même temps. Ainsi, l'outil MEGA est donc intéressant, pour supporter notre approche, parce qu'il :

- dispose un méta-modèle ouvert, ce qui signifie qu'il est possible d'ajouter des nouveaux concepts (en données et en traitement) à l'intérieur de MEGA afin de pouvoir les modéliser et les utiliser,
- est compatible avec le langage de modélisation choisi UML. MEGA est un atelier muni d'outils pour la modélisation de plusieurs types de diagrammes UML tels que : diagrammes de cas d'utilisation, diagrammes d'activités, diagrammes d'états, diagrammes de classes, diagrammes de collaboration, diagrammes séquence, ...
- intègre plusieurs outils d'import/export qui sont nécessaires à l'échange d'informations (données) avec des applications externes (par exemple des outils supports à la MSP),
- contient un ensemble de fonctions (par exemple : les règles de modélisation) qui nous permet de construire notre guide qualité et calculer les indicateurs qualité,

- permet de fournir des interfaces graphiques pour exploiter notre approche qualité,
- se base sur une base de données qui permet d'enregistrer la connaissance résultant de la phase d'instanciation de nos méta-modèles,
- donne la possibilité de créer automatiquement des bases de données via un diagramme de classe.

Ainsi, notre démarche d'automatisation va donc consister à modifier le méta-modèle de MEGA pour qu'il réponde à nos besoins [Deeb 2007a]. La modification du méta-modèle n'est pas une opération triviale. Une mauvaise manipulation peut dans le meilleur des cas entraîner la corruption de certaines données, et dans le pire cela peut aller jusqu'à empêcher MEGA de s'exécuter. Donc, les étapes de modification de méta-modèle de MEGA (automatisation) vont consister à :

- l'intégration des méta-modèles des objets supports de notre approche qualité dans le méta-modèle de MEGA, (II.2.1),
- le développement des interfaces graphiques (affichage) pour nous aider à effectuer la phase instanciation de chacun des méta-modèles en lien avec le produit/processus étudié, (II.2.2),
- la création du guide qualité à suivre, pendant la phase d'instanciation de nos méta-modèles, via l'interface graphique. Les règles relatives au guide qualité sont issues des méta-modèles des activités supports de notre approche, (II.2.3),
- l'extraction de la connaissance qui résulte de la phase d'instanciation, pour l'utiliser par l'opérateur sur site (II.2.4).

La Figure 51 illustre les procédures à suivre pendant l'automatisation de notre approche qualité.

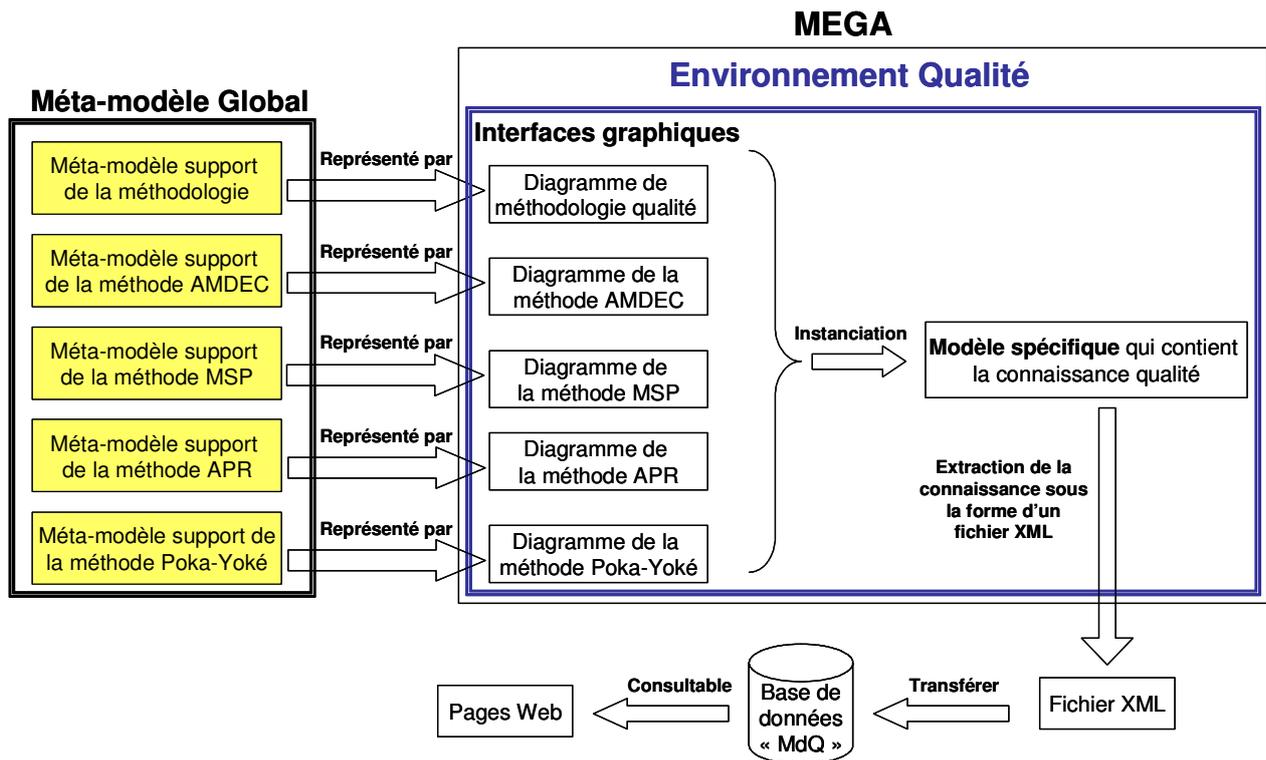


Figure 51. Procédures d'utilisation de MEGA pour suivre l'approche qualité

II.2.1. Intégration des méta-modèles d'objets dans le méta-modèle de MEGA

L'automatisation de notre approche qualité commence par la création, dans l'outil MEGA, d'un nouvel environnement que nous avons appelé « environnement qualité ». Cet « environnement qualité » est créé à l'aide du logiciel *MEGA Administration* qui permet, comme son nom l'indique, d'administrer la plate-forme MEGA. L'« environnement qualité » est un des environnements de travail dans MEGA qui contient toutes les composants de MEGA. C'est-à-dire, il contient un ensemble d'utilisateurs, une base de données, le méta-modèle de MEGA, ... C'est à travers cet environnement que nous allons commencer les étapes de modification du méta-modèle de MEGA. Cette modification du méta-modèle dans l'« environnement qualité » doit permettre de répondre à nos besoins d'instanciation cohérente des méta-modèles pour créer des modèles spécifiques relatifs aux applications étudiées. Donc, pour réaliser la première étape de cette modification, nous avons intégré l'ensemble des concepts qualité définis dans le méta-modèle global support de l'approche qualité dans l'« environnement qualité ». Le principe de cette intégration se base, premièrement, sur la représentation de chaque méta-classe de notre méta-modèle global dans

le méta-modèle de MEGA. Aussi, chaque méta-association entre deux méta-classes est conservée lors de son implantation dans le méta-modèle de MEGA. Deuxièmement, cette intégration se base aussi sur la création des relations entre toutes les nouvelles méta-classes, intégrées dans le méta-modèle de MEGA, et la méta-classe qui s'appelle « Diagramme ». Cette méta-classe « Diagramme » est une méta-classe originale dans le méta-modèle de MEGA qui permet d'exprimer le fait qu'un élément de la nouvelle méta-classe peut être créé dans un diagramme standard de MEGA. Pendant cette intégration, les cardinalités et les contraintes, issues de notre méta-modèle global, ne sont pas exprimées car *MEGA* ne vérifie pas ni les cardinalités et ni les contraintes du méta-modèle lors de l'instanciation des méta-modèles. Cependant, ces cardinalités et contraintes seront ajoutées lors de la création du guide qualité.

La Figure 52 montre un extrait des méta-classes du méta-modèle global support de l'approche qualité telles qu'elles ont été intégrées dans le méta-modèle de MEGA. Une vue complète du méta-modèle global tel qu'il a été intégré dans l'« environnement qualité » est illustrée dans **l'Annexe (D)**.

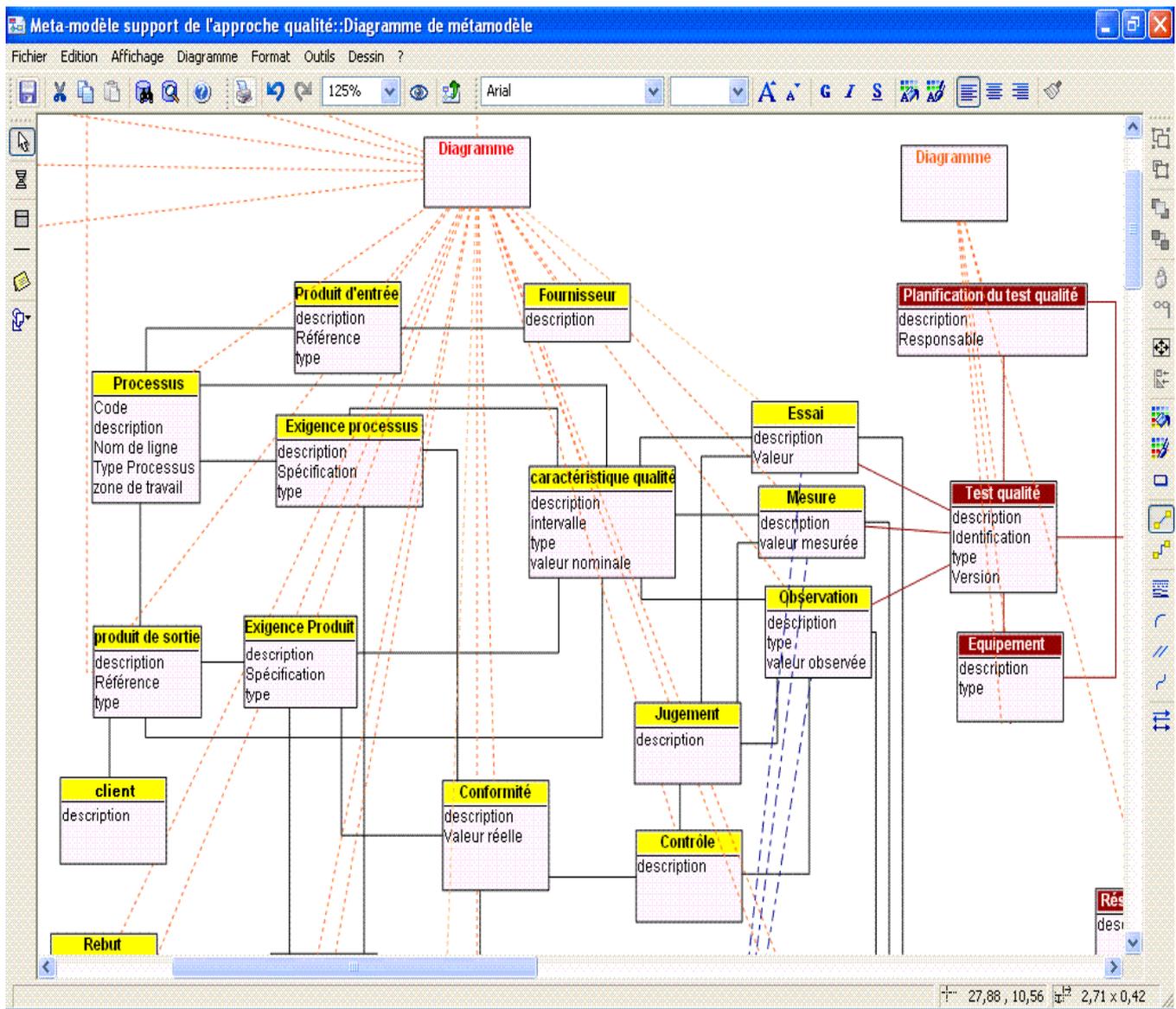


Figure 52. Extrait du méta-modèle support de l'approche qualité implanté dans l'environnement MEGA

II.2.2. Développement des interfaces graphiques de l'approche qualité

Pour pouvoir effectuer l'instanciation de nos méta-modèles, qui ont été intégrés dans l'« environnement qualité » de MEGA, une interface graphique est nécessaire. Donc, la deuxième étape de modification du méta-modèle de MEGA consiste à développer cette interface. L'interface visée doit permettre d'instancier toutes les méta-classes issues de nos méta-modèles et de garder la relation entre ces méta-classes. Pour ce faire, MEGA propose un ensemble d'outils/objets (« ModelType », « ModelTypeParam », ...) pour créer de nouveaux diagrammes. Ainsi, en se basant sur ces outils et pour répondre à nos besoins relatifs,

premièrement, à la création d'un guide qualité et deuxièmement au développement d'une interface d'instanciation dans l'« environnement qualité », nous avons développé un nouveau diagramme qui s'appelle « diagramme de l'approche qualité ». Dans le cadre de ce diagramme nous avons développé ainsi cinq nouveaux diagrammes (Figure 53):

- **diagramme de méthodologie qualité** : ce diagramme représente l'interface qui permet d'instancier le méta-modèle des objets support de notre méthodologie (en cohérence avec le TQM). Dans ce diagramme une barre d'icônes qui représente les méta-classes de ce méta-modèle est ajoutée. Chaque icône porte le nom de la méta-classe correspondante et permet de l'instancier.

Pour que ce diagramme représente exactement les différents éléments (méta-classes et méta-associations) de méta-modèle, support de la méthodologie, et pour que la barre d'icônes soit affichée dans ce diagramme, MEGA propose un ensemble d'outils tel que « Dialogues ». Parmi ces différents outils, l'outil appelé « Paramétrage des diagrammes » permet d'associer les méta-classes et les méta-associations (intégrées dans le méta-modèle de MEGA) entre elles dans un nouveau diagramme MEGA. Cet outil permet d'organiser et d'identifier les différents objets "MEGA" (« ModelTypeParam », « ModelTypeShape », « ModelTypeLink », ...) nécessaires pour faire le rapport (lien) entre, d'une part, les méta-classes et les méta-associations intégrées dans le méta-modèle de MEGA, et d'autre part, le diagramme dans lequel ces méta-classes et méta-associations vont être instanciées (dans notre cas c'est le diagramme de méthodologie qualité). Chacun de ces objets a une fonction à fournir dans le diagramme développé, par exemple : le « ModelTypeParam » décrit ce que peut contenir le diagramme, le « ModelTypeLink » permet de définir les relations à afficher dans le diagramme,

Donc, en se basant sur ces différents outils et objets, nous avons lié le « diagramme de méthodologie qualité » aux différentes méta-classes à instancier, issues du méta-modèle support de la méthodologie, en conservant la relation entre elles. Ainsi, la barre d'icônes développée, dans ce diagramme, nous permet de réaliser l'instanciation du méta-modèle support de la méthodologie. Sur ce diagramme nous pouvons donc saisir le nom de l'instance ainsi que ses différents attributs. Ces différents attributs représentent la connaissance qualité visée par cette instanciation.

- **les quatre diagrammes des méthodes qualité** : Ces diagrammes représente l'interface qui permet d'instancier les méta-modèles des objets support des méthodes qualité (en cohérence

avec le TQM). Ces interfaces ont été développées en utilisant les mêmes outils et objets définies dans le paragraphe précédent.

Chacun de ces quatre diagrammes porte le nom de la méthode qualité concernée, par exemple, le diagramme qui permet d'instancier la méthode AMDEC s'appelle : « diagramme de la méthode AMDEC ». La forme générale de chacun de ces diagrammes ressemble à celui du diagramme de la méthodologie qualité présenté dans le paragraphe précédent. Dans chacun de ces diagrammes, nous trouvons à gauche les icônes qui représentent toutes les méta-classes existant dans le méta-modèle support de la méthode qualité concernée.

Ces différents diagrammes permettent d'instancier lors de la création d'un modèle spécifique toutes les méta-classes (concepts qualité) issues de notre approche qualité.

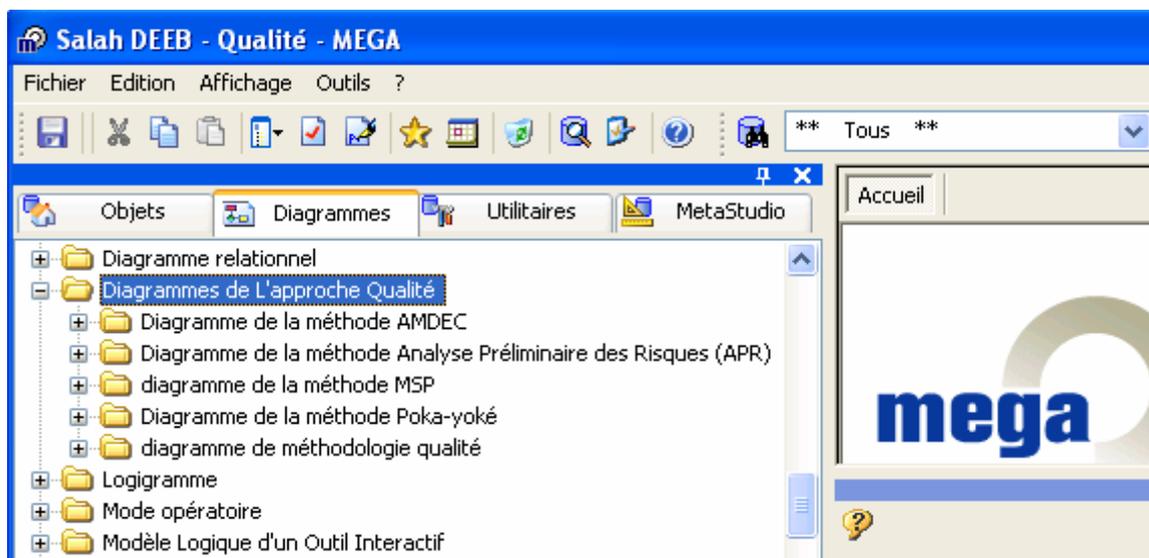


Figure 53. Les diagrammes développés, dans l'« environnement qualité » pour réaliser l'instanciation des méta-modèles supports de l'approche qualité

Dans ces interfaces graphiques, nous avons donné la possibilité, pendant la phase d'instanciation, d'appeler (d'exécuter) les diagrammes des méthodes qualité à partir du diagramme de méthodologie qualité. Cette possibilité permet de représenter l'interdépendance entre la méthodologie qualité et les différentes méthodes qualité en cohérence avec le TQM.

Ainsi, les cinq diagrammes, développés dans l'« environnement qualité », permettent d'intégrer la partie « objets » du guide qualité visé via notre approche qualité. Cependant, la

partie « activités » du guide qualité n'est pas encore intégrée dans ces diagrammes. Pour pallier à ce problème, nous avons implanté dans ces diagrammes un ensemble des règles de modélisation (fonction disponible dans MEGA) qui sont extraites des méta-modèles d'activités.

II.2.3. Partie traitement du guide qualité : création et implantation des règles de modélisation

Lors de l'utilisation de notre approche qualité à travers les différents diagrammes développés dans l'outil MEGA, l'ingénieur qualité sera guidé pendant la phase d'instanciation des différents méta-modèles supports de cette approche. La partie traitement du guide qualité est basée d'une part, sur les méta-modèles d'activités et d'autre part, sur les différentes multiplicités et contraintes des méta-classes existant dans le méta-modèle des objets. Donc, la troisième étape de modification du méta-modèle (automatisation) de MEGA consiste à développer ce guide. Pour ce faire, nous avons utilisé la fonction « règlement de modélisation » qui est disponible dans MEGA. Cette fonction permet de classer des règles de modélisation selon un contexte ou un domaine précis. Une règle s'applique normalement à un objet du référentiel MEGA et définit un contrôle sur cet objet (méta-classe est un des objets de MEGA). Il existe trois niveaux (types) de règles:

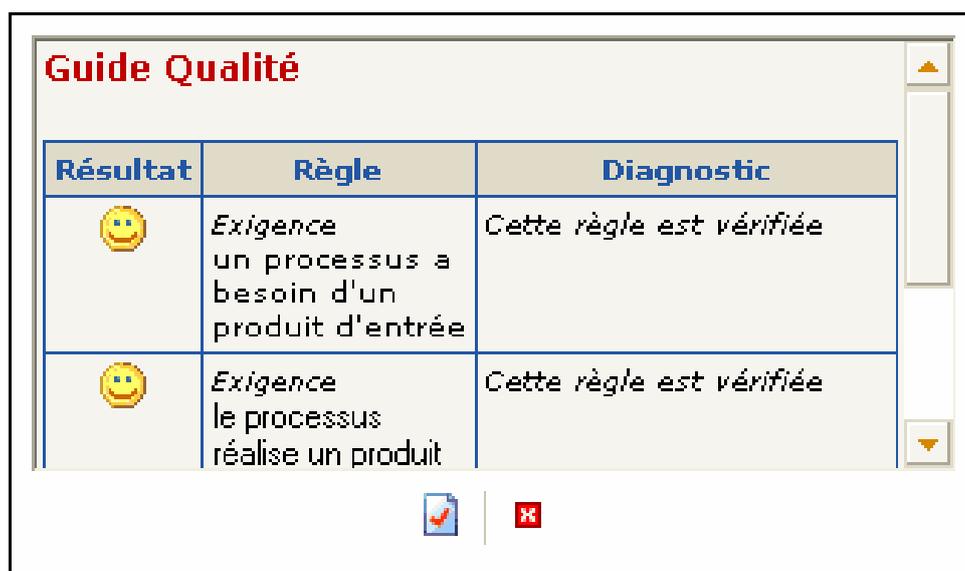
- Suggestion : règle qu'il est préférable d'observer mais non obligatoire. Le non-respect de la règle est précisé dans le rapport d'application des règles mais n'entraîne pas d'avertissement,
- Recommandation : règle importante. Le non-respect de la règle donne lieu à un avertissement,
- Exigence : règle "obligatoire". Le non-respect de cette règle donne lieu à un avertissement de type erreur.

L'implantation d'une règle de modélisation consiste à lier cette règle à un test (fonction dans MEGA). Un test exprime une condition sous la forme d'une expression. Pour un objet donné, la règle de modélisation est vérifiée si l'application du test retourne la valeur " vrai ". Une règle peut avoir un ou plusieurs tests. Dans ce sens, le champ « Opérateur Logique » de la règle offre deux options possibles :

- Et : la règle n'est vérifiée que si tous les tests sont positifs,
- Ou : un test suffit à vérifier la règle.

Le test est décrit par des expressions et par des fonctions. Dans notre cas, et pour développer la partie traitement de notre guide qualité, en respectant les multiplicités et contraintes de nos méta-modèles, nous avons choisi d'appliquer la fonction ItemCount (LegSel) $>= 1, 2, 3, \dots, n$ (Où LegSel est un champ représentant une MetaAssociationEnd) qui est disponible dans MEGA. Cette fonction permet de définir et préciser le lien entre les objets (méta-classes) en regardant les multiplicités et les contraintes entre ces objets. Elle retourne le nombre d'objets trouvés au bout de la MetaAssociationEnd. Par exemple, pour la méta-classe « processus », l'expression : ItemCount(produit de sortie) >0 retourne " vraie " si le processus est relié à strictement au moins un produit de sortie ou plus.

Ainsi, nous avons appliqué à chaque méta-classe de nos méta-modèles une ou plusieurs règles de modélisation qui sont reliées-elles mêmes aux tests. Dans ce guide, les règles utilisées sont du type « recommandation » qui donne un avertissement lors du non-respect du guide. Pour afficher ces règles sur les différents diagrammes de l'approche qualité il faut juste activer ce règlement à partir des options de MEGA. Un règlement actif est ainsi un règlement de référence, défini comme tel afin que nous puissions vérifier en permanence la conformité des objets que nous créons avec les règles à respecter. Nous pouvons alors consulter, à tout moment, les règles liées à la méta-classe à travers un indice qui apparaît au-dessous de son instance. Par cette consultation, une fenêtre apparaît et détaille les règles appliquées sur l'objet : le nom du règlement, suivi d'un tableau dans lequel apparaissent le nom de chacune des règles contenues dans le règlement, leur résultat pour l'objet contrôlé et le diagnostic (Figure 54).



Résultat	Règle	Diagnostic
😊	Exigence un processus a besoin d'un produit d'entrée	Cette règle est vérifiée
😊	Exigence le processus réalise un produit	Cette règle est vérifiée

Figure 54. Règles appliquées sur la méta-classe « processus » (guide qualité)

L'absence de l'indice sur l'instance signifie qu'aucune erreur n'a été détectée et que toutes les règles ont été satisfaites. En général, les résultats du contrôle apparaissent sous forme d'icône, chaque icône se rapporte à une règle du règlement (Figure 55):

	La règle est respectée.
	La règle est de type "Suggestion" et n'est pas respectée.
	La règle est de type "Recommandation" et n'est pas respectée.
	La règle est de type "Exigence" et n'est pas respectée.

Figure 55. Icônes affichant le résultat du contrôle des règles de modélisation

Ces règles doivent guider l'ingénieur qualité dans la phase d'instanciation sous la forme de questions/réponses.

Nous avons également utilisé ces règles pour qu'elles nous aident à calculer, en fin de phase de conception, les **indicateurs qualité**. Dans cet objectif, nous avons ajouté aux entités (méta-classes) liées aux indicateurs qualité des règles du niveau « Exigence ». Ainsi, lors de l'instanciation, l'avertissement relatif à ce type de règle, sur l'instance, attirera l'attention sur l'existence d'un indicateur qualité relatif à cette instance.

II.2.4. Extraction de la connaissance « qualité » résultant de la phase d'instanciation

A la fin de la phase d'instanciation des méta-modèles supports de l'approche qualité sur un cas d'étude, la connaissance résultant de cette instanciation sera automatiquement enregistrée dans la base de données de MEGA. Cette connaissance doit ensuite être utilisée par l'opérateur pour qu'il puisse l'exploiter sur site afin anticiper les dérives qualité (i.e équipe autonome). En effet, l'utilisation directe de cette connaissance « qualité », stockée dans la base de MEGA, est irréalisable. Pour l'accès à la connaissance il faut donc l'extraire de la base de données de MEGA et la mettre dans un support extérieur permettant d'accéder facilement à cette connaissance.

En effet, MEGA permet, à partir d'un diagramme de classe UML, de générer automatiquement un script SQL qui permet de créer une base de données. Pour créer notre

base de données extérieure, à travers MEGA, et pour que chaque méta-classe dans le méta-modèle global, support de l'approche qualité, soit représentée par une table et que la relation entre ces méta-classes soit conservée dans cette base nous avons développé les étapes suivantes :

- le méta-modèle global support de notre approche est représenté, dans MEGA, sous la forme de diagramme de classe,
- les outils de génération de code de MEGA Designer permettent ensuite de dériver automatiquement le diagramme de classes en un modèle relationnel. Ensuite, à partir de ce modèle relationnel, MEGA génère un script « sql »,
- le fichier « *.sql » est exécuté sur un SGBD (Système de Gestion de Bases de Données) de type MySQL pour créer notre base de données qui s'appelle : Maîtrise de Qualité « **MdQ** ».

Dans cette base de données « MdQ », chaque méta-classe devient une table, les attributs dans chaque méta-classe deviennent des colonnes dans cette table et les relations entre les méta-classes sont conservées.

Cependant, certaines précautions sont à prendre concernant la conservation d'une partie du formalisme UML. En effet, quelques propriétés ne sont pas conservées, notamment les contraintes d'unicité et d'exclusion, l'agrégation, l'héritage. Pour remédier à ce problème, il est souhaitable d'agir directement sur le modèle relationnel dérivé afin d'aboutir au modèle final en cohérence avec le modèle initial voulu (contrôle du modèle relationnel).

Ainsi, pour transférer la connaissance « qualité », résultant d'une phase d'instanciation, de la base de données de MEGA vers la base de données « MdQ », MEGA donne la possibilité d'extraire cette connaissance de sa base sous la forme d'un fichier de type XML (eXtensible Markup Language). L'intérêt d'utiliser un fichier XML est qu'il permet de structurer précisément l'information ce qui facilite énormément son traitement par une autre application par la suite. Ainsi, pour réaliser cette extraction, une "description" (fonction dans MEGA) spécifique relative aux méta-modèles supports de l'approche qualité a été développée. Cette "description" comprend les caractéristiques propres à chaque méta-classe de l'approche qualité en prenant en compte leurs relations. **L'Annexe (E)** décrit un exemple de la façon de développer la "description" qualité. Une fois la "description" de toutes les méta-classes réalisée, elles peuvent être utilisées pour produire le fichier XML relatif à nos méta-modèles (pour chaque cas d'étude un fichier XML sera produit). Le fichier XML résultant contient

toutes les données qualité résultant de la phase d'instanciation. Pour transférer cette connaissance extraite de la base de MEGA vers la base de données « MdQ », nous avons développé une application JAVA qui réalise cette transformation (le développement de cette application est détaillé dans le § II.3.2.1).

II.3. Utilisation de l'approche qualité à travers l'outil MEGA

Après avoir modifié le méta-modèle de MEGA pour qu'il soit compatible avec nos besoins en créant l'« environnement qualité », notre approche qualité est directement utilisable dans la phase de conception à travers une phase d'instanciation des méta-modèles, supports de l'approche qualité, jusqu'à la phase d'exploitation à travers des pages Web [Deeb 2006], [Deeb 2007b].

II.3.1. Utilisation en phase de conception

Dans cette phase, notre approche qualité offre à l'ingénieur qualité un guide pour l'aider lors de la création de son modèle spécifique (faire bien du premier coup). Ce modèle spécifique résulte d'une phase d'instanciation de l'ensemble des méta-modèles supports de l'approche qualité. Cette instanciation se réalise, par l'« environnement qualité » dans MEGA, à travers le diagramme de méthodologie qualité et les diagrammes des méthodes qualité.

Le modèle spécifique matérialise, généralement, l'étude d'un produit/processus de production particulier depuis la définition du processus jusqu'à la propositions des actions qui éliminent les causes de non-conformité. En effet, les règles implantées dans les différentes méta-classes vont guider de façon cohérente l'ingénieur, dans le niveau tactique, pendant la maîtrise et l'amélioration de son produit/processus en suivant un ensemble de procédures. Ces procédures traduisent les relations entre entités, contraintes, multiplicités, sous typages, ... A titre exemple, la création de l'instance « processus » relative au processus à étudier demande à l'ingénieur qualité, par les relations « produit/processus », de créer un produit d'entrée et un produit de sortie reliés à ce processus (en cohérence avec les exigences de la norme ISO9000:2000). Pour ce produit de sortie, il faut ensuite préciser les exigences de type forme, espace ou temps, en cohérence avec les “modelling constructs”, en sachant qu'à chaque exigence doit être associées des caractéristiques qualité, etc.

L'instanciation se base ainsi sur quatorze étapes matérialisant des procédures chronologiques imposées. Chaque étape se construit sur un ensemble de procédures qui matérialisent à un degré d'abstraction inférieur, les séquences d'activités développées dans les modèles d'activités (lien processus – activités – procédures). Parmi ces quatorze étapes, les treize

premières sont réalisées à travers le diagramme de méthodologie qualité et la dernière étape à travers un ou plusieurs diagrammes des méthodes qualité (Figure 56).

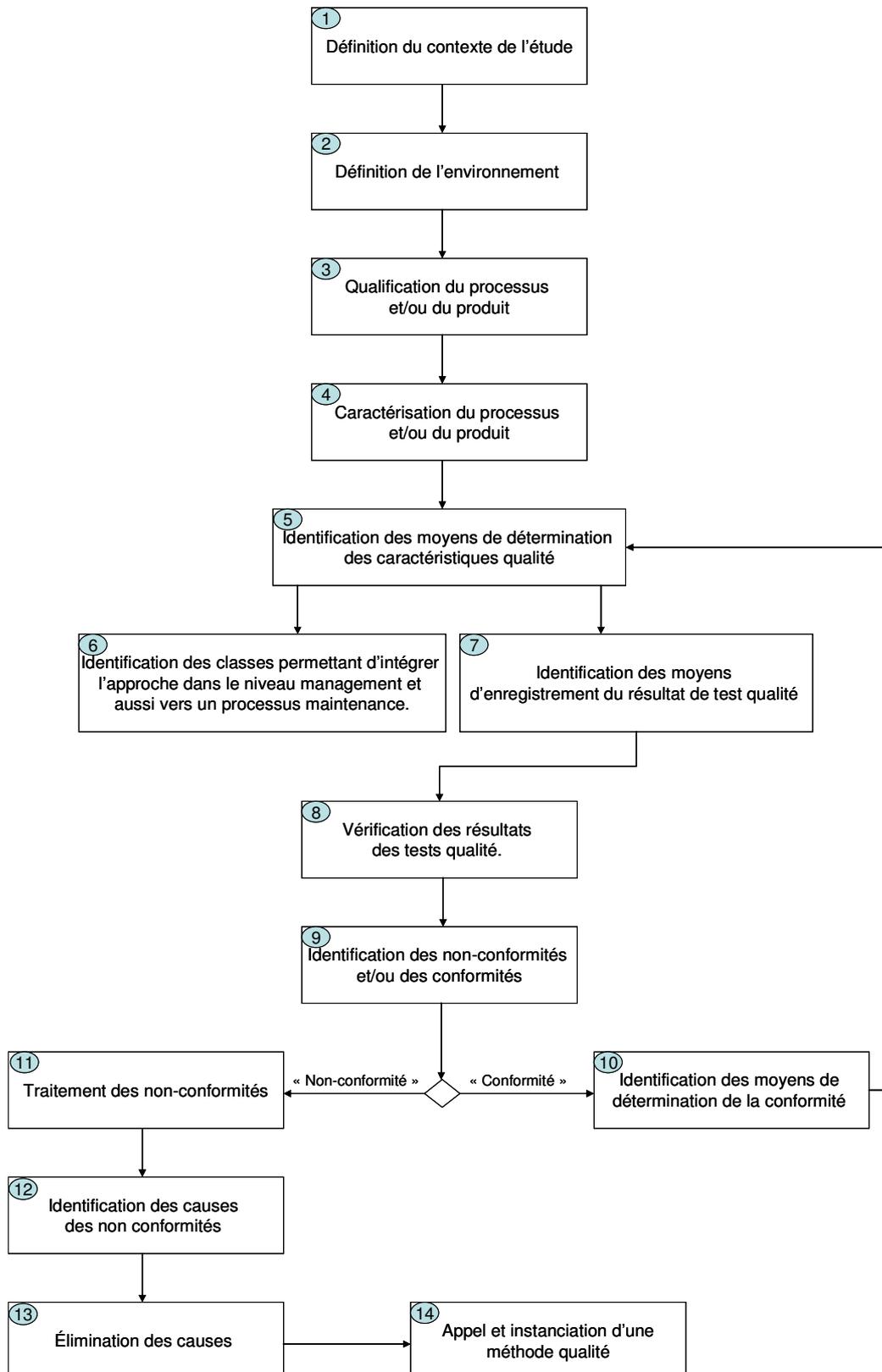


Figure 56. Les étapes d'instanciation de l'approche qualité en phase de conception

Nous détaillons dans la suite de ce paragraphe les méta-classes qui doivent être instanciées à chaque étape d'instanciation :

(1) *Définition du contexte de l'étude*. Cette étape permet de spécialiser les méta-classes « Processus », « Produit d'entrée », et « Produit de sortie ». Elle permet également de faire le découpage du processus initial en processus élémentaires. La Figure 57 présente un diagramme de procédures (workflow), se basant sur le diagramme d'activités support de la méthodologie qualité (Figure 34), qui détaille les procédures à suivre pendant cette étape d'instanciation.

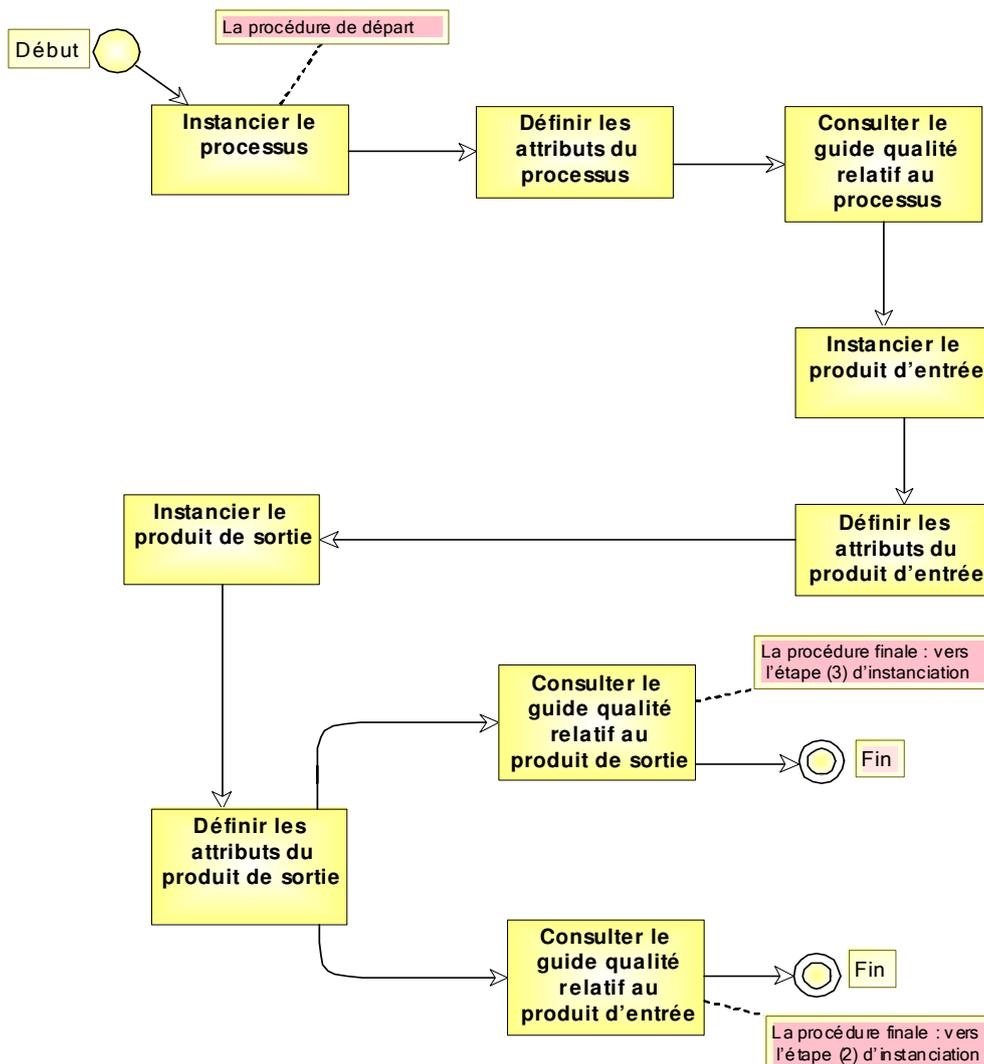


Figure 57. Diagramme de procédures (workflow) relatif à la première étape d'instanciation

L'instanciation de cette étape, comme nous l'avons indiqué préalablement, est réalisée à travers le diagramme de méthodologie qualité. **L'Annexe (F)** illustre un diagramme de séquence qui explique l'utilisation de ce diagramme pour réaliser l'étape d'instanciation.

-
- (2) *Définition de l'environnement de travail.* Cette étape permet de spécialiser les méta-classes « Client » et « Fournisseur »,
- (3) *Qualification du processus et/ou du produit.* Étape de spécialisation de la méta-classe « Exigence processus » ou/et les sous-types de la méta-classe « Exigence produit de sortie » qui sont « Exigence temps », « Exigence forme », et « Exigence espace »,
- (4) *Caractérisation du processus et/ou du produit,* elle permet de spécialiser la méta-classe « Caractéristique qualité », en lien avec le processus et/ou le produit, qui va être maîtrisée.
- (5) *Identification des moyens de détermination des caractéristiques qualité.* Cette étape permet de spécialiser les méta-classes « Observation », « Mesure », « Essai », et « Equipement qualité » relatives de la méta-classe « Test qualité »,
- (6) *Identification des classes qui permettent de faire intégrer l'approche qualité dans le niveau management et aussi vers un processus maintenance.* Étape de spécialisation de méta-classe « planification du test qualité » en relation avec le test qualité concerné,
- (7) *Identification des moyens d'enregistrement du résultat de test qualité.* Cette étape permet de spécialiser la méta-classe « Preuve tangible »,
- (8) *Vérification des résultats des tests qualité.* Cette étape permet de spécialiser la méta-classe « Vérification »,
- (9) *Identification des non-conformités et/ou des conformités.* Cette étape permet de spécialiser les méta-classes, « Non conformité » et/ou « Conformité »,
- (10) *Identification des moyens de détermination de la conformité.* Cette étape permet de spécialiser les méta-classes, « Contrôle », « Jugement », et « Observation » (si elle n'est pas instanciée dans l'étape cinq),
- (11) *Traitement des non-conformités.* Cette étape permet de spécialiser les méta-classes sous-types des méta-classes « Correction » ou « Rebut »,
- (12) *Identification des causes des non conformités.* Cette étape permet de spécialiser les méta-classes « Cause machine », « Cause main d'œuvre », « Cause méthodes », « Cause milieu » et « Cause matière » sous-types de la méta-classe « Cause »,
- (13) *Élimination des causes.* Cette étape permet de spécialiser les méta-classes « Action préventive » et « Action corrective » sous-types de la méta-classe « Action ». Elle permet également de spécialiser les méta-classes sous-type de la méta-classe « Action préventive »,

(14) *Appel d'une méthode qualité qui permet de faire intégrer l'approche qualité dans le niveau opérationnel.* Cette étape permet d'appeler (au sens informatique) potentiellement un ou plusieurs diagrammes des méthodes qualité pour instancier le méta-modèle support de la méthode qualité appelée. Pour ce faire, nous avons créé dans le diagramme de méthodologie qualité des entités qui portent les noms des méthodes qualité modélisées (AMDEC, MSP, APR, Poka-yoké). L'instanciation de chacune de ces entités permet d'exécuter le diagramme de la méthode qualité visée. Par exemple, pour le traitement des causes d'une non-conformité nous pouvons exécuter (appeler) la méthode AMDEC via son diagramme d'interface (le diagramme de la méthode AMDEC). L'ingénieur lors de sa démarche d'instanciation pour une maîtrise de la qualité de son processus ou/et produit, pourra ainsi répondre aux problèmes d'identification des ces causes, des mode de défaillance, des effet, de criticité, ... à base d'un outil métier qu'il connaît logiquement.

La maîtrise conjointe de la qualité du produit/processus demande de préciser les caractéristiques du processus pour qu'il soit capable de réaliser le produit, c'est-à-dire définir la relation entre les caractéristiques des processus et les caractéristiques de produit. Dans cette optique, les étapes (3), (4) et (12) permettent de préciser l'aptitude du processus de production étudié. Dans les troisième et quatrième étapes nous définissons les exigences et les caractéristiques du produit et du processus. En revanche, l'étape douze permet de faire le lien entre la non-conformité et les causes relatives au processus. Ceci permet de juger si le processus est apte à réaliser les caractéristiques de produit pour lesquelles il est mis en œuvre.

En conclusion, à la fin de cette phase d'instanciation, si l'ingénieur n'a pas les réponses aux questions posées (incomplétudes potentielles de sa connaissance), il peut décider : (1) de remettre en cause son socle de connaissances vis-à-vis du problème posé pour modifier le modèle spécifique (meilleure maîtrise), ou (2) de continuer sa démarche mais en s'orientant vers un produit/processus non totalement maîtrisé au sens de la méthodologie. Cette décision peut être prise à partir du résultat de l'évaluation sur la base des indicateurs qualité calculés. Ce calcul est réalisé à l'aide des règles de modélisations (de type exigences) liées aux concepts (entités) qualité, relatifs aux indicateurs. Il se réalise sur la base des modes de calcul données dans la Figure 49 et sur la formule de calcul proposée dans le chapitre 3 (§ II.4).

II.3.2. Utilisation en phase d'exploitation

À la fin de la phase de conception, et pour utiliser la connaissance « qualité » résultant d'une phase d'instanciation, l'ingénieur qualité est invité à transférer cette connaissance stockée pour l'instant dans la base de MEGA vers la base de données « MdQ ». Cette base « MdQ »

est accessible à travers des pages Web afin d'extraire la connaissance et la mettre à la disposition des opérateurs. Ainsi l'opérateur est à même d'améliorer la maîtrise des dérives qualité des processus ou/et du produit en cours de production en utilisant les informations données dans les pages Web. L'opérateur doit pouvoir, entre autres, alors accéder via ces pages :

- aux causes les plus probables de non-conformité,
- aux actions correctives (et/ou préventives) les plus efficaces à mener relativement aux causes présumées,
- aux corrections possibles de cette non-conformité, ...

II.3.2.1. Extraction de la connaissance « qualité » de la base de MEGA

La transformation de la connaissance « qualité » de la base de MEGA vers la base de données « MdQ » passe par l'utilisation de la "description" (créer dans l'« environnement qualité »). Cette description permet de générer le fichier XML qui contient cette connaissance en lien avec le processus étudié. La connaissance enregistrée dans ce fichier est transférée vers la base de données « MdQ » à l'aide d'une application JAVA que nous avons développée avec des étudiants ESIAL (Ecole Supérieure d'Informatique et Applications de Lorraine) pour cet objectif. Ce développement est effectué en utilisant les composants externes :

- JDom qui est une librairie permettant de lire des fichiers XML (la classe XMLReader)
- Pilotes JDBC Microsoft pour SQL Server afin d'accéder à la base de données

La classe XMLReader, comme son nom l'indique, nous permet d'analyser un fichier de type XML et d'en extraire les informations. Avant de pouvoir lire le fichier XML, il est nécessaire de créer les diverses classes qui définissent les éléments décrits dans le fichier XML, relatif à notre méta-modèle, tels qu'à chaque balise XML corresponde une méta-classe de notre méta-modèle. **L'Annexe (G)** montre un exemple de balise relatif à la méta-classe « Accident potentiel ». Nous voyons que chaque méta-classe a pour attribut, des attributs propres, en général de type String ou Integer, caractérisant les objets qui lui sont associés. Ainsi, la classe XMLReader permet de parcourir le fichier XML en partant de la méta-classe racine « Processus ». Il renseigne ainsi les différents attributs des méta-classes et permet de créer les entités avec lesquelles elles sont rattachées.

Après que l'application Java se soit exécutée, nous pouvons transférer facilement le fichier XML vers la base de données « MdQ ». **L'Annexe (H)** illustre un diagramme de séquence

qui explique l'utilisation de cette interface de JAVA. Ainsi, la connaissance « qualité » (données) est enregistrée dans la base de données « MdQ ».

II.3.2.2. Extraction des informations de la base de données « MdQ » (Pages Web)

Afin d'utiliser la connaissance « qualité », enregistrée dans la base « MdQ », nous avons besoin d'un support qui permet de l'interfacer avec l'opérateur sur site. En effet, [Weckenmann 2004] a montré qu'un des futurs challenges relatifs au management de la qualité est d'avoir un assistant système supporté par une application web. Ainsi, pour mettre à disposition la connaissance qualité et pour répondre à ce challenge, nous avons choisi d'afficher les données qualité sous la forme des pages Web. Pour ce faire, nous avons utilisé les éléments suivants :

- le langage PHP (**PHP: Hypertext Preprocessor**) qui est un langage interprété (un langage script) exécuté du côté serveur. Nous avons choisi ce langage à cause de :
 - La simplicité d'écriture de scripts,
 - La simplicité d'interfaçage avec des bases de données,
 - la possibilité d'inclure le script PHP au sein d'une page HTML. Ce langage permet de communiquer avec la base de données et générer dynamiquement des pages HTML,
 - La gratuité et la disponibilité du code source.
- MySQL qui est un Système de Gestion de Bases de Données (SGBD),
- le serveur Web Apache qui le serveur le plus répandu sur Internet.

L'Annexe (I) illustre une partie du script PHP utilisé pour développer les pages Web.

En utilisant ces trois composants nous avons créé des pages Web d'accès à la base de données. Ces pages Web dynamiques sont organisées pour s'adapter aux différentes structures et arborescences du produit et des processus gérées dans la base de données « MdQ ». Les données sont accessibles à l'opérateur au travers de différents menus, tables et liens hypertexte. Dans ces pages Web, l'opérateur est capable de consulter le menu des processus « élémentaires » disponibles ainsi que les produits de sortie qui sont issus de ces processus. Aussi, il peut consulter beaucoup d'informations telles que :

- les caractéristiques qualité relatives aux produits de sortie et/ou à ses processus de développement,
- les non-conformités qui peuvent être issues d'un processus de production,

- les causes potentielles qui provoquent ces non-conformités,
- les actions correctives et préventives qui permettent d'éliminer les causes,
- les informations issues de l'instanciation des méthodes qualité modélisées dans cette approche. Par exemple en ce qui concerne la méthode AMDEC, les informations résultantes de cette méthode sont affichées sous la forme d'un tableau AMDEC, ...

Ainsi, ces pages fournissent à l'opérateur sur site toutes les informations qualité nécessaires à la maîtrise et l'amélioration de la qualité du produit et la qualité des processus de production étudiés.

En conclusion, notre approche qualité est utilisée par deux acteurs principaux : l'ingénieur qualité et l'opérateur. Pour synthétiser le rôle de chacun des acteurs dans les différentes étapes d'utilisation de notre approche qualité, nous avons construit un diagramme de cas d'utilisation de notre approche qualité (Figure 58). Ce diagramme résume ainsi ce qui doit être fait par l'ingénieur qualité et par l'opérateur pour obtenir le résultat escompté.

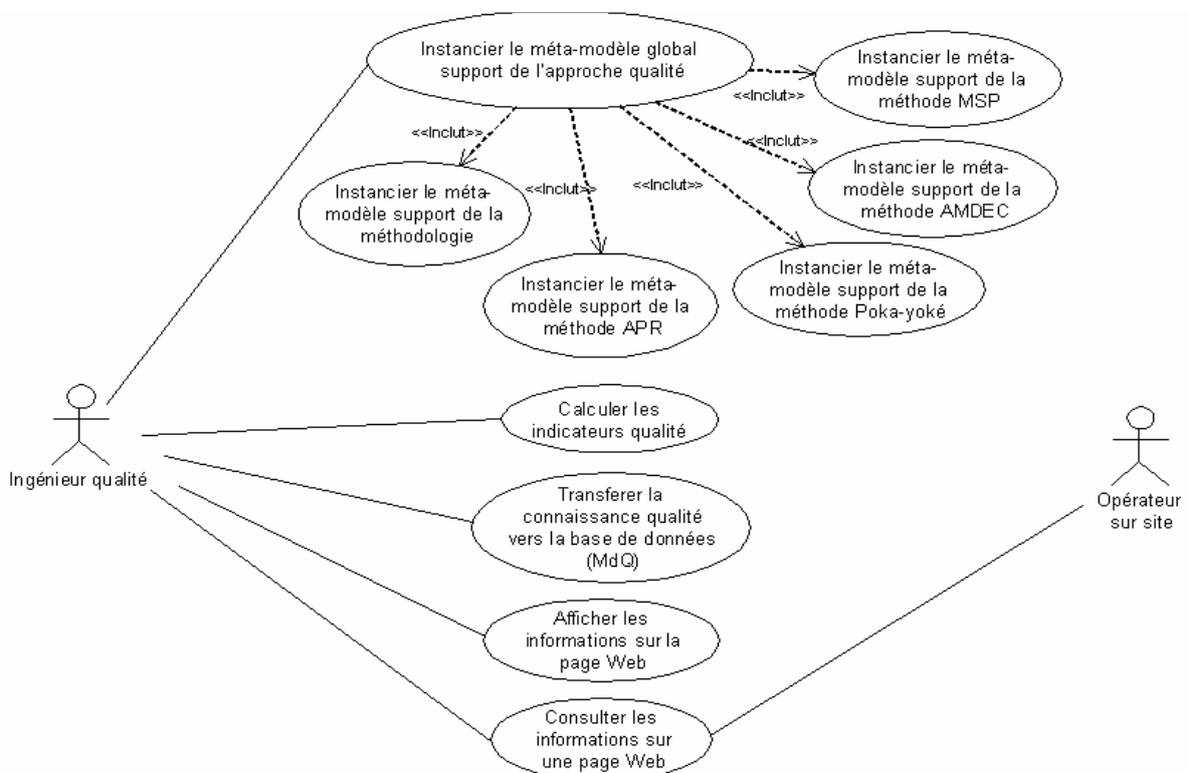


Figure 58. Diagramme de cas d'utilisation de l'approche qualité

En regardant la Figure 29 et pour que toutes les étapes de développement de l'approche qualité restent toujours structurées dans un cadre de modélisation de l'entreprise, nous avons mis en évidence dans la Figure 59 le positionnement de ces étapes dans le cadre de modélisation de Zachman.

		Quoi (Objet)	Comment (Traitement)	Où (Réseau)	Qui (Acteurs)	Quand (Temps)	Pourquoi (Motivations)
Développé dans le Chapitre 3	PORTEE {contextuel} Planificateur Concepteur	<u>Thing important to the business :</u> -Documents textuels et normes -Ressources informatique -Outil MEGA	<u>List of processes the business performs:</u> - Production - Qualité		<u>List of organizational units:</u> Ingénieur qualité		<u>List of business goals:</u> Offrir une approche qualité (guide qualité)
	MODELE DE L'ENTREPRISE {conceptuel} Propriétaire Concepteur	<u>Semantic model :</u> Méta-Modèles d'objets supports de l'approche qualité	<u>Business process model :</u> Méta-modèles d'activités supports de l'approche qualité		<u>Work flow model:</u> Ingénieur qualité		<u>Business pain :</u> Supporter l'approche qualité
Développé dans le Chapitre 4	MODELE DU SYSTEME {logique} Concepteur	<u>Logical data model :</u> Modèle relationnel résultant d'un diagramme de classe qui représente le méta-modèle d'objets			<u>Human interface architecture:</u> Ingénieur qualité		<u>Business rule model:</u> Construire la base de données «mdq»
	MODELE DE TECHNOLOGIE {physique} Concepteur	<u>Physical data model:</u> Script SQL pour créer la base de donnée « mdq »	<u>System design:</u> Modèle spécifique résulte de l'instanciation		<u>Presentation architecture:</u> Ingénieur qualité		<u>Rule design:</u> Construire la base de données «mdq»
	REPRESENTATION DETAILLEE Concepteur Programmeur	<u>Data definition :</u> -Créer la base de données «mdq» -Saisir des données dans «mdq»	<u>Program:</u> Application Java		<u>Security architecture :</u> Ingénieur qualité		<u>Rule specification:</u> Stocker la connaissance qualité dans «mdq»
	Système de fonctionnement	<u>Actual business data</u> Page Web	<u>Actual application code:</u> Développer des scripts PHP		<u>Actual business organization :</u> Ingénieur qualité -Opérateur sur site		<u>Actual business strategy:</u> Extraire la connaissance qualité de la «mdq» et l'exploiter

Figure 59. Positionnement des différentes étapes de développement de l'approche qualité dans le cadre de modélisation Zachman

Notre contribution peut être considérée comme une contribution à l'automatisation de la qualité au niveau du poste de travail. Le but de l'automatisation est de redonner une cohérence au niveau du poste de travail à l'ensemble des démarches de progrès, qui sont mises en place dans une entreprise. De plus, elle fournit un guide dans l'objectif de donner un maximum d'autonomie à l'opérateur en éliminant les non-conformités [Pillet 2003]. Pillet définit trois

axes majeurs responsables de non performance (en lien avec la qualité) au niveau du poste de travail :

- *Axe de connaissance/compétence* : cet axe décrit les connaissances et la maîtrise du sujet (qualité) par les personnes concernées (ingénieurs, opérateurs, ...). Cela peut aller de connaissances très pauvres jusqu'à une connaissance très complète dans le cas d'experts,
- *Axe de formalisation* : cet axe décrit le degré de formalisation, de règles à respecter qui existent sur le sujet concerné. Cela peut aller de l'inexistence totale de règles formalisées jusqu'à la description très complète de ces règles,
- *Axe d'application* : cet axe décrit le degré de correspondance entre les connaissances acquises et/ou formalisées et la véritable application sur le terrain.

Dans notre contribution nous avons déjà répondu aux deux premiers axes, celui de connaissance, en modélisant des concepts qualité qui contiennent la connaissance nécessaire pour la maîtrise et l'amélioration de la qualité, et dans l'axe de formalisation, en proposant des règles de l'utilisation de cette connaissance. Dans la deuxième partie de ce chapitre nous allons répondre à l'axe d'application, qui fera suite à l'automatisation de l'approche qualité, en introduisant un cas d'application sur un processus qualité de type manufacturier. Ce cas d'application permettra de tester la validité et montra la faisabilité de notre approche qualité.

III. Faisabilité de l'approche qualité sur un processus manufacturier de type tournage

Pour valider notre approche qualité et montrer sa faisabilité nous avons réalisé une procédure d'instanciation au cas d'un processus de type manufacturier implanté au sein de l'AIPL (Atelier Inter-Etablissements de Productique Lorrain) avant son utilisation en milieu industriel. En effet nous n'avons pas pu (encore) expérimenter cette démarche au cas de la fabrication de moteurs (contexte initial de la thèse) suite à la vente, par Alstom-Moteurs, du site de Champigneulle à Converteam (ancienne filiale d'Alstom) (voir chapitre I). Nous essayons cependant, à travers les publications que nous avons déjà réalisées, de disséminer une partie de ce travail vers des cadres de Converteam pour renouer des contacts et autoriser une future expérimentation.

Cette première expérimentation qui est donc réalisée dans un contexte proche de l'industrie (mais pas en industrie), permet cependant de supporter une étape initiale de validation mais qui ne permet pas de conclure quant à l'applicabilité de la démarche à d'autres cas d'application (perspective au travail).

Le processus sur lequel nous avons expérimenté notre approche qualité, au sein de l'AIPL, est un processus de tournage sur un tour à commande numérique. Pour définir le cas d'application, nous allons décrire la situation de travail puis nous exposons la mise en oeuvre de notre approche qualité de la phase de conception jusqu'à la phase d'exploitation.

III.1. Situation du cas d'application : l'Atelier Inter-établissement de Productique Lorrain AIPL

L'Atelier Inter-établissements de Productique Lorrain (AIPL) est le centre de ressource régional du réseau national AIP-PRIMECA qui regroupe des pôles de compétences pluridisciplinaires autour de technologies innovantes. Le pôle AIP Lorrain se justifie comme un support expérimental de formation approfondie dans le domaine de la productique et de la conception intégrée en mécanique.

Les produits de type AIP fabriqués sont relativement simples car exploités principalement à des fins d'enseignement. Ils permettent cependant de mettre en oeuvre tous les équipements

disponibles. Il s'agit principalement d'assemblages de 2 à 4 pièces de forme cylindrique de différents types (Figure 60). Ces produits sont fabriqués à partir de barres en aluminium de 3 mètres de long, et de plaques de tôle aimantée ou en acier galvanisé.

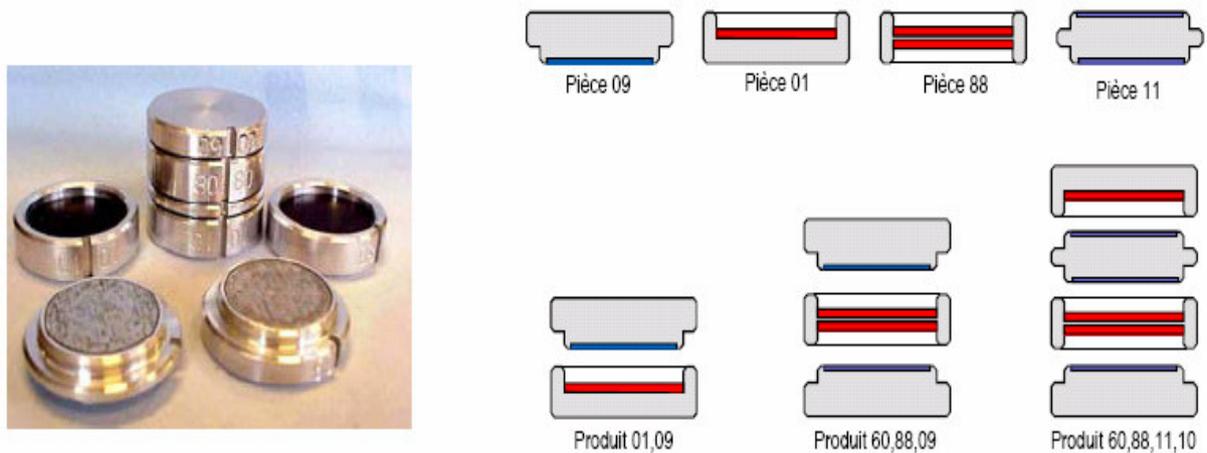


Figure 60. Exemple des pièces manufacturières dans l'AIP

Les différents processus de fabrication des produits assemblés sont utilisés dans un système flexible de production (SFP) suivant la gamme (Figure 61) :

- tronçonnage des barres brutes en lopins avec une scie mécanisée,
- **tournage des palets dans les lopins avec un tour à commande numérique,**
- découpe des disques avec une presse hydraulique, (ce processus est fait à l'IUT Nancy Brabois, proche de l'AIP)
- collage des disques sur les palets pour obtenir des pièces,
- assemblage des produits AIP à partir des pièces sur un Système Flexible de Production.

Chacun de ces processus se décompose lui-même en un ensemble de sous processus.

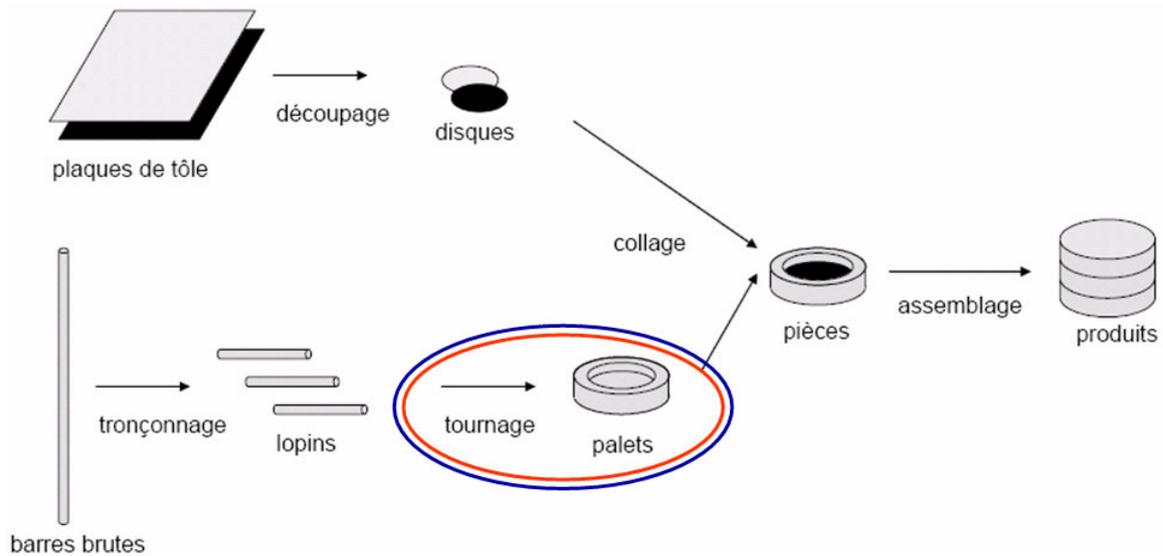


Figure 61. Les différents processus de fabrication des produits assemblés de type AIP (SFP)

Ainsi, après avoir présenté le domaine d'étude générale de notre cas d'application, nous allons maintenant nous focaliser plus précisément sur le processus de tournage des palets « SFP » (Figure 61).

III.2. Processus de tournage de la pièce Palet (SFP)

Le processus étudié est un processus de tournage réalisé sur un tour à commande numérique de type ROSILIO TBI 540 (Figure 62). Ce processus transforme des lopins (barres brut d'aluminium d'environ 1 m de long et Ø50 mm) en palets « SFP » disponibles pour être transférés au processus suivant d'assemblage.

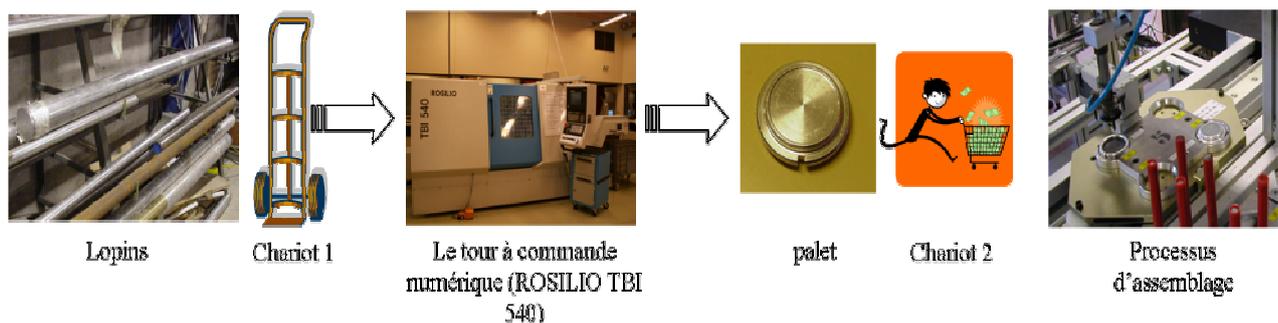


Figure 62. Contexte du cas d'application relatif au processus tournage

Ce processus tournage est composé de plusieurs processus élémentaires qui sont classés selon la face de palet (SFP) sur laquelle l'opération est réalisée :

- **opérations d'usinage sur la première face du lopin :**
 - T1 outil d'ébauche Extérieur (dressage face et ébauche extérieur)

- T4 foret à plaquette Ø30 (perçage jusqu'à Z-5.45)
 - T6 barre d'alésage (aléser ébauche + fin Ø36H7)
 - T10 outil Tournant fraise Ø3 (rainure Lg 3 mm)
 - T2 outil de finition extérieure (finition de Ø44.5)
 - T12 outil à tronçonner (tronçonnage de la pièce)
- **opérations d'usinage sur la deuxième face**
 - T1 outil d'ébauche Extérieur (dressage face et ébauche extérieur)
 - T4 foret à plaquette Ø30 (perçage jusqu'à Z-5.45)
 - T6 barre d'alésage (aléser ébauche + fin Ø36H7)
 - T2 outil de finition extérieure (finition de Ø44.5)

Chaque processus qu'il soit général ou élémentaire est à considérer comme un point de départ de l'application des quatorze étapes d'instanciation du méta-modèle global support de l'approche qualité afin de développer au final un modèle spécifique. Dans ce mémoire, nous avons choisi de montrer l'expérimentation de notre approche qualité sur le processus élémentaire "Finition extérieure". Nous détaillons l'exploitation de notre approche qualité via les différents diagrammes développés dans l'« environnement qualité » en MEGA.

En effet, plusieurs problèmes "qualité", de type maîtrise et amélioration de la qualité du palet (SFP), sont attachés au processus "Finition extérieure". Ces problèmes "qualité" sont dus :

- aux dérives des valeurs observées sur les diamètres des palets (SFP): le diamètre demandé pour ces palets est de Ø44.5 mm avec une tolérance [-0.1, +0.1] mm. Cependant, après fabrication lorsque nous avons mesuré les diamètres de 50 palets (SFP), nous avons trouvé que 40 des palets présentaient des côtes très (voire trop) proches des limites associées aux non-conformités (pourcentage de rebut non négligeable).
- à la difficulté de faire un diagnostic logique et précis associant la non-conformité des palets aux différentes causes. Cela nous amène à étudier l'aptitude du processus à conformément réaliser les palets en examinant les caractéristiques du processus et en étudiant leurs effets sur les caractéristiques du palet (SFP).
- à la difficulté de définir les fonctions et les éléments endommagés en lien avec les causes des non-conformités.

III.3. Expérimentation de l'approche qualité sur le processus élémentaire "Finition extérieure"

L'expérimentation de cette approche générique sur le processus élémentaire "Finition extérieure" est réalisée depuis la phase de conception jusqu'à la phase d'exploitation du processus de maîtrise et d'amélioration de la qualité des palets et du processus élémentaire "Finition extérieure" (« core value » ciblé).

Nous supposons que le produit d'entrée est un lopin. Le processus amont par rapport à ce processus est celui de transport par chariot (1), et le processus aval est celui de transport par chariot (2).

III.3.1. En phase de conception

Dans cette phase, le déploiement de notre approche se concrétise par une instanciation des méta-modèles supports de l'approche, en respectant les quatorze étapes d'instanciation (Figure 56). Cette instanciation est réalisée à l'aide des différents diagrammes créés dans l'« environnement qualité » de l'outil MEGA. Cette étape a pour objectif d'obtenir le modèle spécifique qui contient la connaissance qualité relative au processus "Finition extérieure".

III.3.1.1. Instanciation des méta-modèles supports de l'approche qualité

La première étape est de créer un nouveau diagramme de méthodologie qualité qui concerne le processus "Finition extérieure" (Figure 63).

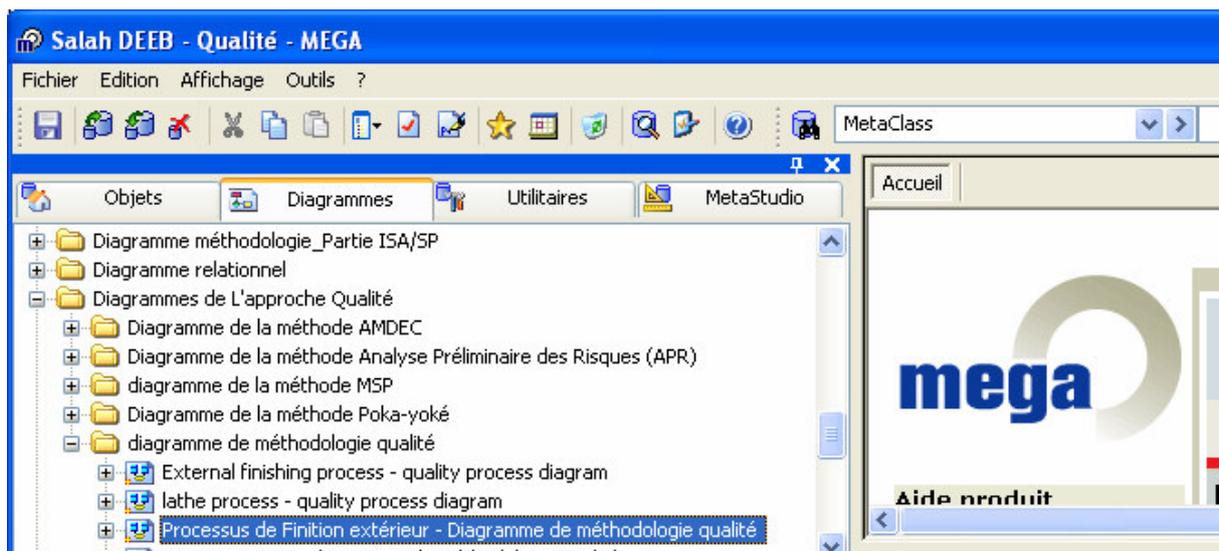


Figure 63. Le diagramme de méthodologie qualité assuré au processus "Finition extérieure"

L'utilisation du guide qualité implanté dans ce diagramme commence par l'instanciation de la méta-classe « Processus », encadrée (de façon plus ou moins souple) par le guide qualité. Dans cette application, nous présentons l'instanciation réalisée à travers les quatorze étapes qui ont été définies au début de ce chapitre. La phase d'instanciation a été menée conjointement avec des personnes de l'AIPL, possédant la connaissance initiale sur le processus de tournage et de façon plus générale sur le produit à réaliser.

Nous détaillons avec quelques copies d'écran la première étape des quatorze étapes pour montrer l'utilisation du guide qualité à travers le diagramme de méthodologie qualité.

La première étape nous permet de définir le contexte de l'étude. Cette étape commence par l'instanciation du processus à maîtriser réalisée à travers l'icône correspondant de la méta-classe « Processus ». Une fenêtre s'affiche pour donner le nom de l'instance du processus, permettant de définir « Réaliser la finition extérieure » comme une instance de la méta-classe « Processus ». La connaissance "qualité" issue de ce processus est représentée par ses attributs. La saisie de ces attributs est réalisée en définissant les propriétés dans l'onglet "Caractéristiques" (Figure 64).

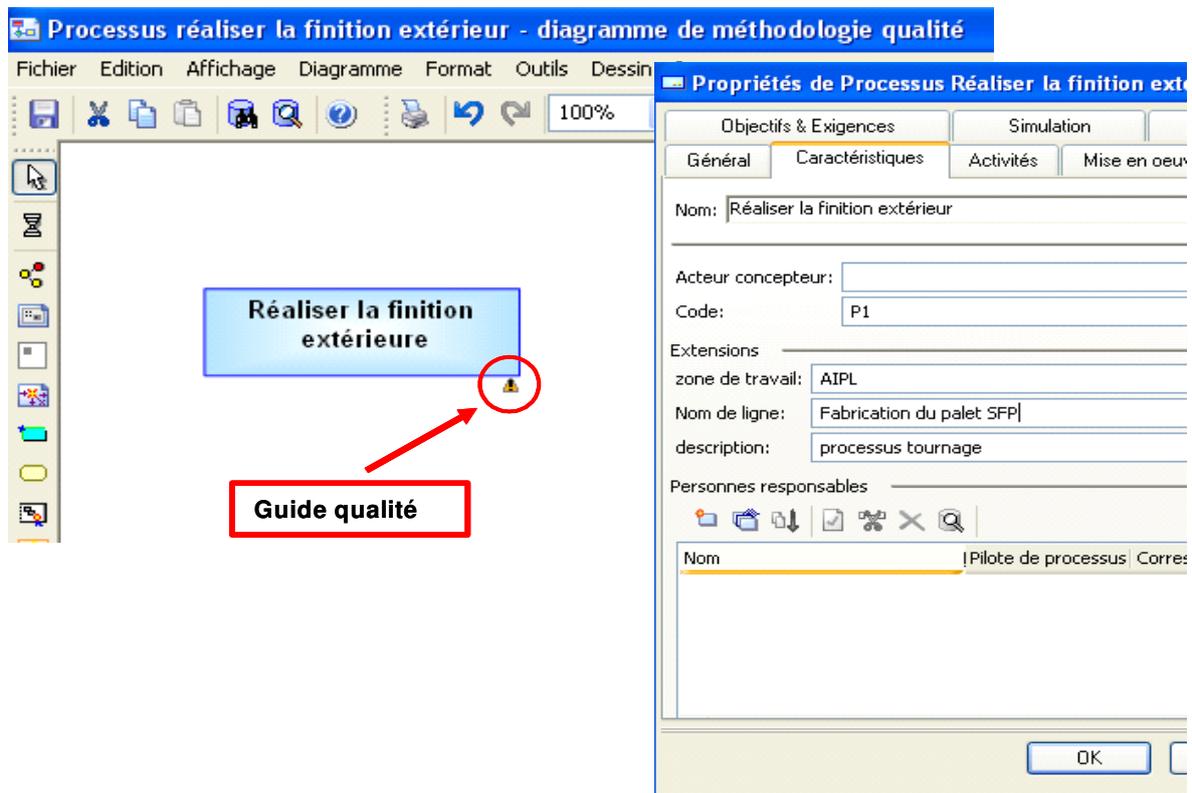


Figure 64. Création de l'instance « Réaliser la finition extérieure » de la méta-classe « Processus » à travers le diagramme de méthodologie qualité

Pour connaître l'étape suivante à réaliser dans cette instanciation, il faut consulter le guide qualité (les règles) à travers l'indice situé en dessous de l'instance « Réaliser la finition extérieure » (Figure 65). Ce guide montre que le processus a besoin d'un produit d'entrée, d'un produit de sortie et des exigences.

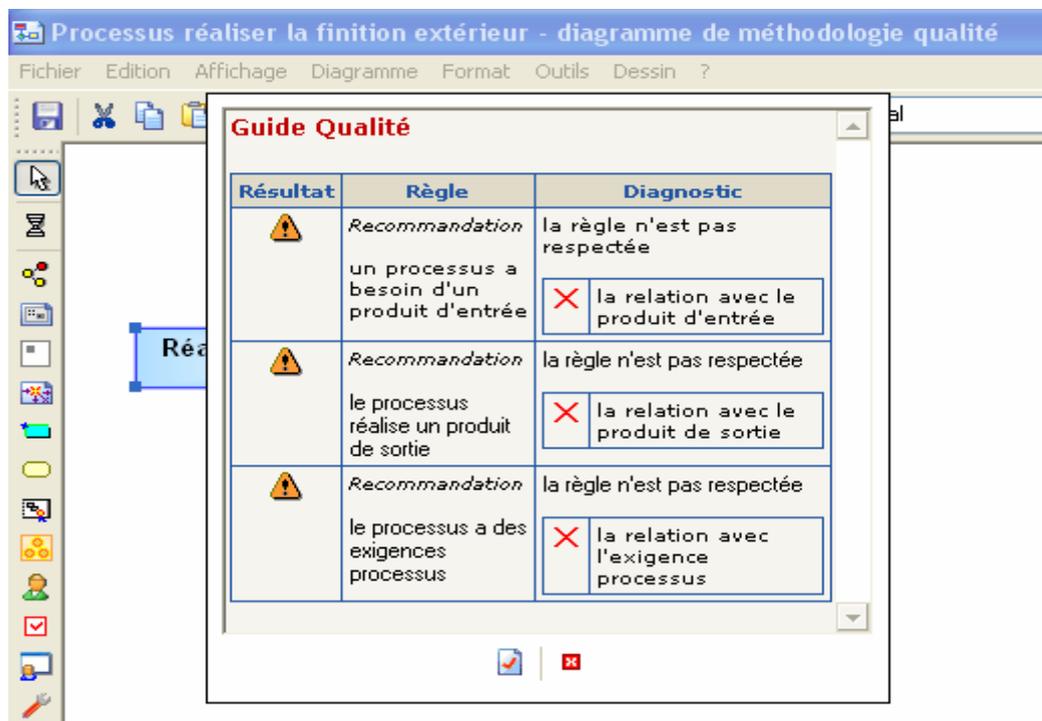


Figure 65. Le guide qualité relatif au processus « Réaliser la finition extérieure »

Le guide qualité nous conduit alors à créer, « Lopin » comme une instance de la méta-classe « Produit d'entrée » et « Palet (SFP) » comme une instance de la méta-classe « Produit de sortie » (Figure 66). Pour ajouter la connaissance "qualité" relative à ces instances, leurs attributs sont saisis. Au-dessous de chacune de ces instances apparaît un indice permettant de consulter le guide qualité en lien avec ces instances. L'indice rouge (rond), relatif aux règles de type exigence, qui apparaît sur l'instance « Palet (SFP) » indique l'existence d'un indicateur qualité relatif à cette entité (instance). Ces indices nous guident pour effectuer les étapes suivantes d'instanciation.

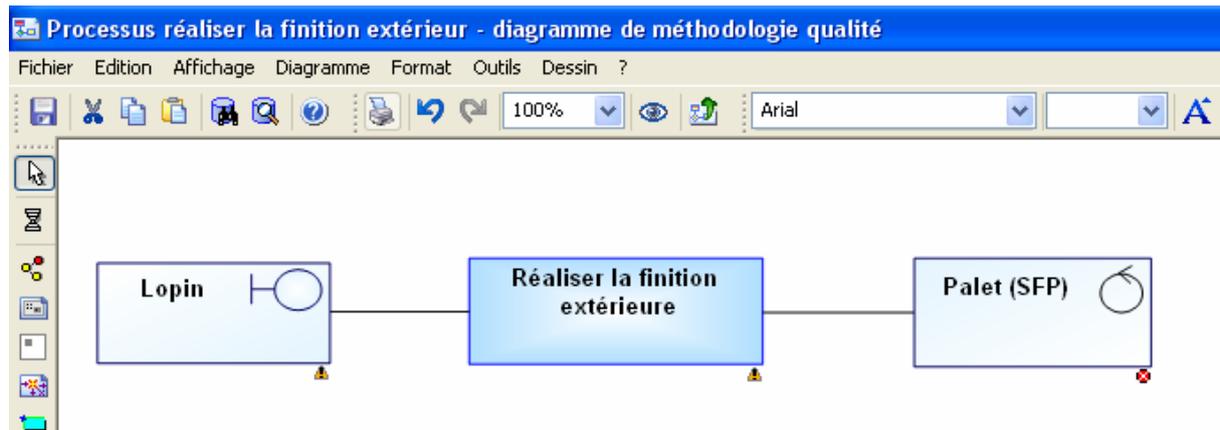


Figure 66. Création des instances des méta-classes « produit d'entrée » et « produit de sortie »

De la même manière nous avons accompli les autres étapes d'instanciation de notre approche qualité. Pour les étapes suivantes d'instanciation, nous donnons uniquement les résultats principaux illustrés par les noms des instances créées pour chacune des méta-classes de l'approche qualité. La Figure 67 illustre un extrait du modèle spécifique de notre cas d'application résultant des différentes étapes d'instanciation du méta-modèle support de la méthodologie qualité via le diagramme de méthodologie qualité.

Ainsi, *dans la deuxième étape*, nous spécialisons la méta-classe « Fournisseur » par l'instance « Transport par chariot (1) » et la méta-classe « Client » par l'instance « Transport par chariot (2) ».

La troisième étape nous permet de déterminer les exigences attendues du processus « Réaliser la finition extérieure » et du « palet (SFP) » en termes de Temps, d'Espace et de Forme. Le processus « Réaliser la finition extérieure » modifie les attributs de temps et de forme et ne modifie pas l'attribut d'espace. Ainsi, nous créons « Diamètre de palet est correct » comme une instance de la méta-classe « Exigence produit forme ». De la même façon, nous créons « Temps précis de la réalisation de la finition » comme une instance de la méta-classe « Exigence produit temps ». Pour atteindre ces exigences du palet (SFP), le processus doit avoir des exigences permettant de répondre aux exigences du palet. Ainsi, nous avons créé « Vitesse de rotation du tour adéquate » et « Outils appropriés » comme des instances de la méta-classe « Exigence processus ».

Dans la quatrième étape, nous déterminons toutes les caractéristiques qualité (à vérifier) relatives aux exigences définies dans l'étape précédente. En ce qui concerne les caractéristiques du produit de sortie « Palet (SFP) », la « Diamètre de palet, VN= 44.5 mm, IT= [-0.1, +0.1] » (VN: Valeur Nominale; IT: Intervalle de Tolérance) est une instance de la

méta-classe « Caractéristique qualité » liée à l'instance « Diamètre de palet est correct ». La « Durée de finition VN=4 sec, IT = [-0.5, +0.5] » est aussi une instance de la méta-classe « Caractéristique qualité » liée à l'instance « Temps de réalisation de la finition ». En ce qui concerne le processus, nous créons « Vitesse de rotation 3500 t/min, IT= [-25, +25] » comme une instance de la méta-classe « Caractéristique qualité » liée à l'instance « Vitesse de rotation du tour adéquate ». Nous introduisons ensuite « Outil T2 » comme une instance de la méta-classe « Caractéristique qualité » liée à l'instance « Outils tournant approprié ».

Cette étape permet ainsi de vérifier si les caractéristiques de processus « Réaliser la finition extérieure » sont capables de satisfaire les caractéristiques du palet (SFP) en faisant le lien entre les non-conformités du palet (SFP), si elles existent, et ses caractéristiques.

Dans la cinquième étape, nous précisons les méthodes et les moyens d'accomplir le test qualité à réaliser sur les caractéristiques du palet (SFP) définies dans l'étape quatre. Cela permet de créer l'instance « Mesurer le diamètre de palet » comme une instance de la méta-classe « Mesure », et l'instance « Pied à coulisse » comme une instance de la méta-classe « Equipement » en lien avec l'instance « Diamètre de palet, VN= 44.5 mm, IT= [-0.1, +0.1] ». En relation de l'instance « Durée de finition VN=4 sec, IT = [-0.5, +0.5] », nous créons « Mesurer le temps de finition » comme une instance de la méta-classe « Mesure » et « Chronomètre » comme une instance de la méta-classe « Equipement ».

La sixième étape permet d'avoir « Gérer le test qualité » comme une instance de la méta-classe « Planification du test qualité » en lien avec les instance du test qualité « Mesure ».

La septième étape permet de créer « Document preuve », dans le quel nous enregistrons les résultats du test qualité, comme une instance de la méta-classe « Preuve tangible ».

La huitième étape qui est relative à la vérification des résultats du test qualité donne naissance aux « Vérifier la durée de finition » et « Vérifier le diamètre de palet », comme des instances de la méta-classe « Vérification ».

Le neuvième étape nous permet d'avoir « Durée de finition est correcte » comme une instance de la méta-classe « Conformité » et « Le diamètre de palet est trop grand » comme une instance de la méta-classe « Non-conformité ». Ces instances sont reliées, respectivement, aux instances « Vérifier la durée de finition » et « Vérifier le diamètre de palet » par des liens de confirmation.

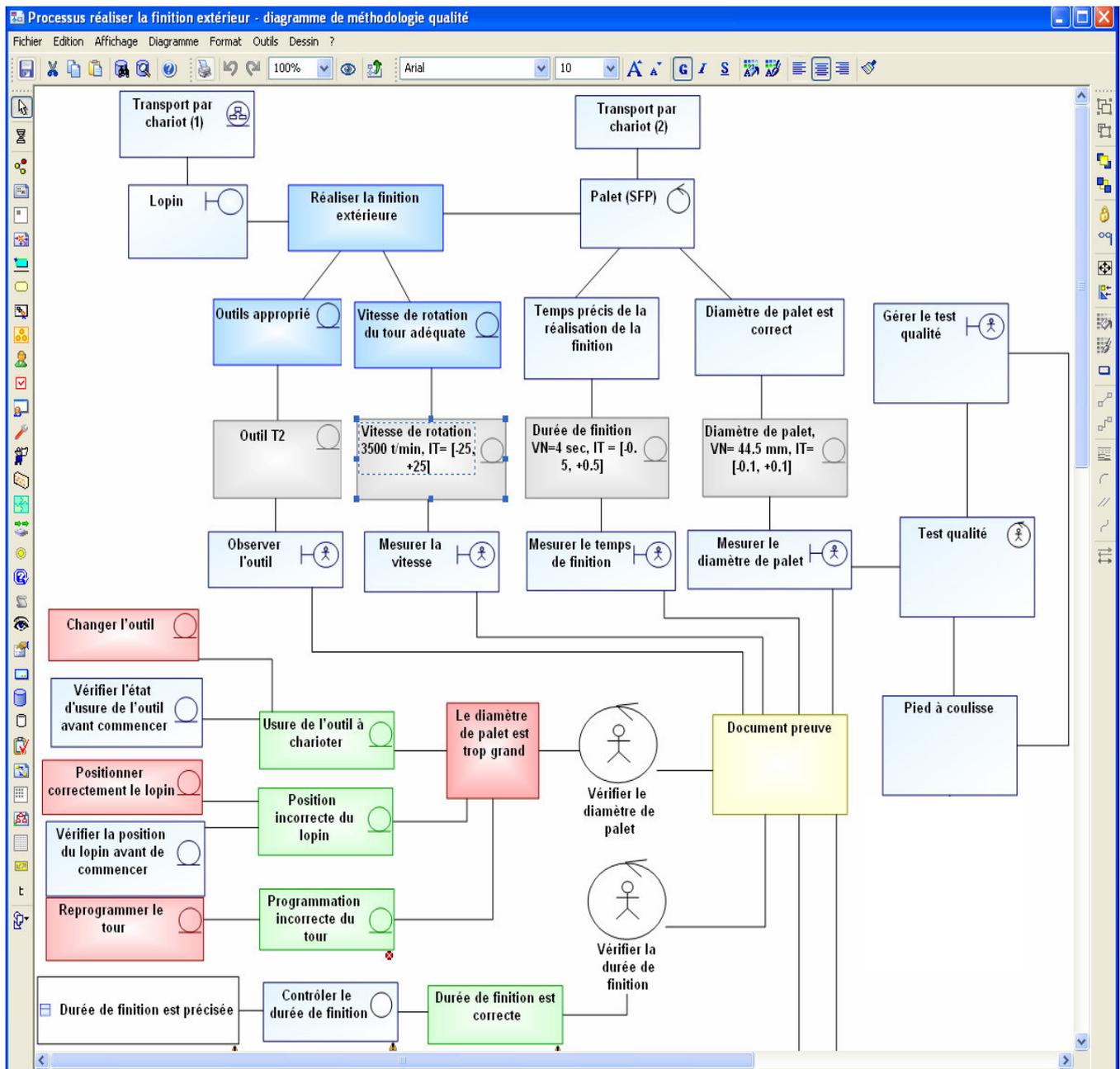


Figure 67. Extrait du modèle spécifique, du cas d'application, résultant du diagramme de méthodologie qualité dans MEGA

La dixième étape nous permet d'évaluer et justifier la conformité par un contrôle et un jugement. Elle permet d'identifier les conformités en comparant les mesures et/ou essais et/ou observations avec les caractéristiques qualité relatives à une même exigence. Cela donne naissance à « Contrôler la durée de finition » comme une instance de la méta-classe « Contrôle » et « Durée de finition est précisée » comme une instance de la méta-classe « Jugement » qui est liée à l'instance « Mesurer le temps de finition ».

Dans la onzième étape, nous avons créé « Re-usiner le palet » comme une instance de la méta-classe « Réparation » sous-type de la méta-classe « Correction ».

La douzième étape nous permet d'identifier les causes possibles pour la non-conformité précédente. Cela nous permet de créer :

- « Usure de l'outil à charioter » comme une instance de la méta-classe sous-type « Cause machine »,
- « Position incorrecte du lopin » et « Programmation incorrecte du tour » : comme des instances de la méta-classe sous-type « Cause main d'œuvre »,

Une des causes de la non-conformité est liée à la caractéristique de processus « Outil T2 ». L'existence de cette cause permet de faire le lien entre les caractéristiques du processus et ceux de produit. Ce lien nous permet de mettre en évidence que le processus n'a pas nécessairement l'aptitude de réaliser le produit correctement.

Pour éliminer ces causes, les règles du guide qualité dans *la treizième étape* nous demandent de définir les actions correctives et préventives relatives aux causes de la non-conformité. Dans ce sens, nous avons créé :

- « Vérifier l'état d'usure de l'outil avant de commencer » comme une instance de la méta-classe sous-type « Action préventive systématique » en lien avec l'instance de cause « Usure de l'outil à charioter »
- « Positionner correctement le lopin » comme une instance de la méta-classe « Action corrective » en lien avec l'instance de cause « Position incorrecte du lopin »
- « Vérifier la position du lopin avant de commencer » comme une instance de la méta-classe sous-type « Action préventive systématique » en lien avec l'instance de cause « Position incorrecte du lopin »
- « Changer l'outil » comme une instance de la méta-classe « Action corrective » en lien avec l'instance de cause « Usure de l'outil à charioter »
- « Reprogrammer le tour » comme une instance de la méta-classe « Action corrective » en lien avec l'instance de cause « Programmation incorrecte du tour »

Dans l'étape quatorze de l'instanciation, et pour répondre aux problèmes qualité relatifs à l'identification des fonctions et les éléments endommagés, nous avons utilisé la méthode AMDEC capable de nous aider pour identifier les instances par l'instance "métier" de plusieurs des objets génériques liés au problème qualité déclaré. Pour cela, nous avons exécuté le diagramme de la méthode AMDEC, à partir du diagramme de méthodologie

qualité, pour instancier les méta-classes qui réunissent la connaissance qualité résultant de cette méthode.

Ainsi, à l'aide des règles de modélisation implantées dans ce diagramme de la méthode AMDEC, nous avons instancié les différentes méta-classes en commençant par les causes de non-conformité définies dans l'étape douze. Nous montrons ici uniquement les noms des instances résultant de l'instanciation du méta-modèle support de la méthode AMDEC en lien avec l'instance de cause « Usure de l'outil à charioter ». Donc, en lien avec cette instance nous avons créé « Fonctionnement dégradé de la fonction usiner » comme une instance de la méta-classe « Mode de défaillance ». Ce mode de défaillance peut être, au niveau supérieur, une cause de non-conformité. Il est détecté par « Vision » qui est présentée comme une instance de la méta-classe « Moyen de détection ». « Outil à charioter » est donnée comme une instance de la méta-classe « Élément ». Pour définir la fonction affectée par le mode de défaillance, nous donnons « Usiner le palet » comme une instance de la méta-classe « Fonction ». Pour préciser l'effet du mode de défaillance donné, nous avons instancié la méta-classe « Effet » par l'instance « Diamètre de palet est trop grand ». La Figure 68 illustre une partie du modèle spécifique de notre cas d'application résultant des différentes étapes d'instanciation du méta-modèle support de la méthode AMDEC via le diagramme de méthodologie qualité. L'ensemble des graphiques associés à chacun des concepts qualité que nous avons utilisé dans le diagramme de méthodologie qualité et le diagramme de la méthode AMDEC sont illustrés dans **l'Annexe (J)**.

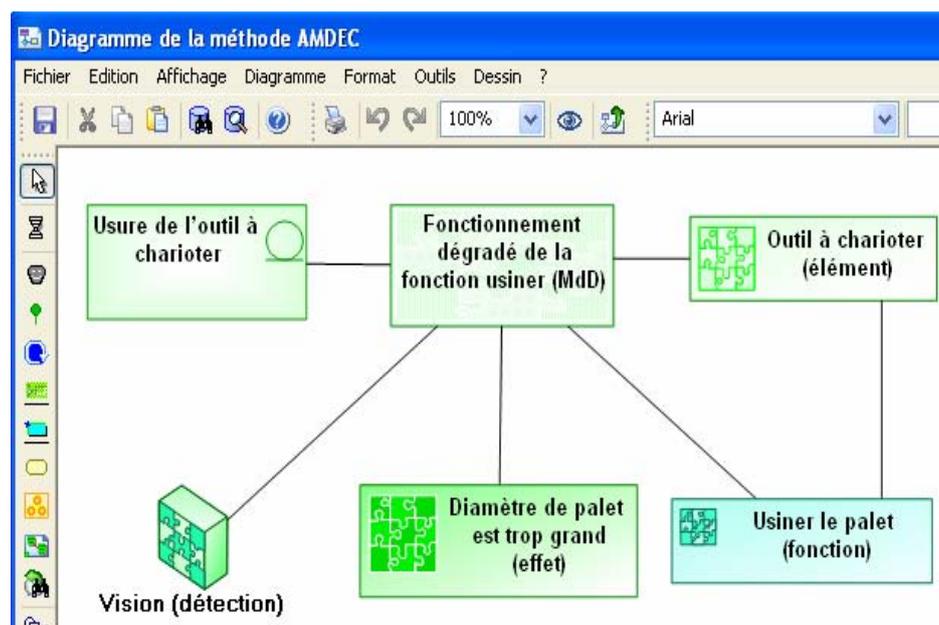


Figure 68. Extrait du modèle spécifique, du cas d'application, résultant du diagramme de la méthode AMDEC dans MÉGA

En lien avec la même cause nous avons instancié le méta-modèle support de la méthode Poka-Yoké en utilisant son diagramme support dans MEGA (diagramme de la méthode Poka-Yoké).

La Figure 69 illustre une partie du modèle spécifique de notre cas d'application résultant des différentes étapes d'instanciation du méta-modèle support de cette méthode.

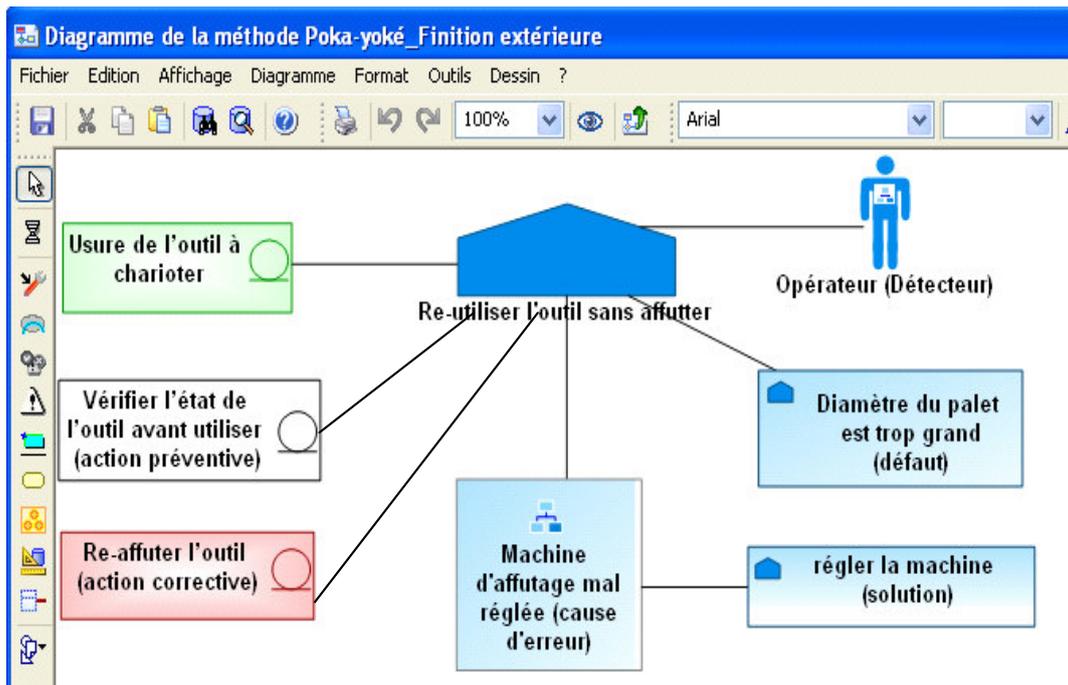


Figure 69. Extrait du modèle spécifique, du cas d'application, résultant du diagramme de la méthode Poka-Yoké dans MÉGA

Enfin, un modèle spécifique du cas d'application est créé, concernant le processus "Finition extérieure". Ce modèle spécifique contient la connaissance qualité nécessaire pour répondre aux problèmes de maîtrise et d'amélioration de la qualité du processus « finition extérieure » et de la qualité des palets (SFP).

III.3.1.2. Phase d'évaluation (calcul des indicateurs qualité)

A la fin de l'instanciation, une évaluation de la maîtrise de la qualité (évaluation de la satisfaction du « core value ») est effectuée par un calcul manuel des indicateurs qualité. Cette évaluation représente l'interdépendance entre le « core value » et la méthodologie en cohérence avec le TQM.

Pour accomplir le calcul des indicateurs qualité, nous avons vérifié tous les objets attachés à un indicateur, à l'aide des règles de type « exigence », c'est-à-dire vérifier tous les liens de chacun de ces objets. Ainsi, le calcul est réalisé ensuite par l'utilisation de la formule donnée:

$$\text{Phase d'Evaluation (PE)} = (\text{Indic1} \times 1 + \text{Indic2} \times 1 + \text{Indic3} \times 1 + \text{Indic4} \times 2 + \text{Indic5} \times 1 + \text{Indic6} \times 3 + \text{Indic7} \times 3 + \text{Indic8} \times 3) / \text{somme des poids} \ll 15 \gg$$

Nous avons choisi de détailler un exemple de calcul de l'indicateur « **Indic8** : indicateur des actions préventives ». C'est un indicateur qualitatif qui vérifie si les causes de non-conformité ont été attachées aux actions préventives. Pour la non-conformité « Le diamètre de palet est trop grand », trois causes possibles ont été définies qui sont : « Usure de l'outil à chariotier », « Position incorrecte du lopin » et « Programmation incorrecte du tour ». Dans l'étape (13) d'instanciation, nous avons défini deux actions préventives intitulées : « Vérifier la position du lopin avant de commencer » en lien avec la cause « Position incorrecte du lopin » et « Vérifier l'état d'usure de l'outil avant commencer » en lien avec la cause « Usure de l'outils à chariotier ». Donc, en appliquant le mode de calcul proposé dans la Figure 49 nous obtenons:

$$\text{Indic8 : indicateur des actions préventives} = (\text{nombre des causes qui sont liées aux actions préventives} / \text{nombre total des causes}) * 100 \rightarrow \text{Indic8} = (2/3) * 100 = 66,66 \%$$

De la même façon, nous calculons le reste des indicateurs qualité proposés. Pour calculer le degré de satisfaction du « core value » ciblé (phase d'évaluation) nous utilisons la formule de (PE) :

$$\text{PE} = (100 \times 1 + 100 \times 1 + 100 \times 1 + 50 \times 2 + 100 \times 1 + 100 \times 3 + 100 \times 3 + 66,66 \times 3) / 15$$

$$\rightarrow \text{PE} = 86,6 \%$$

Par rapport à l'échelle de valeurs proposée, dans le chapitre 3 (§ II.3), pour évaluer le degré de satisfaction du « core value », ce résultat est considéré comme bien. Nous pouvons alors utiliser la connaissance du modèle spécifique dans la phase d'exploitation. Cependant nous pouvons reconsidérer le modèle réalisé en répondant de façon plus pertinente aux questions posées pour améliorer le processus de maîtrise de la qualité de 80% à 100%.

A la fin de cette phase de conception, la connaissance "qualité" encapsulée dans le modèle spécifique du processus « Finition extérieure » est enregistrée dans la base de données de MEGA. Cette connaissance doit être utilisée par l'opérateur sur site dans l'objectif de répondre aux problèmes qualité.

III.3.2. En phase d'exploitation

Dans cette phase, et pour que la connaissance résultant de la phase d'instanciation soit utilisée par l'opérateur, nous la transférons de la base de données de MEGA vers la base de données « MdQ ». Pour ce faire, nous générons à l'aide de la "description" créée dans MEGA, un fichier XML qui contient toutes les informations issues du modèle spécifique. Cette génération s'opère en ouvrant la "description", puis en choisissant le processus « Réaliser la finition extérieure ». Nous enregistrons ensuite le fichier résultant dans un répertoire dédié sous le nom : (*Processus finition extérieure.xml*).

Le transfert du fichier (*Processus finition extérieure.xml*) vers la base de données « MdQ » est réalisé à l'aide de l'application JAVA qui permet de lire et d'importer ce fichier.

Le choix de la base de données s'effectue en se connectant au serveur de la base de données MySQL, puis nous sélectionnons la base vers laquelle nous allons transférer les informations (la base « MdQ »).

Lorsque les étapes précédentes ont été réalisées, toutes les informations existantes dans le modèle spécifique sont stockées dans la base de données « MdQ ». Cette base de données est liée à des pages Web qui permettent d'afficher ces informations (Figure 70). A travers ces pages Web, nous pouvons consulter les différentes informations issues du modèle spécifique. Les pages Web permettent d'afficher les caractéristiques qualité, les non-conformités correspondantes, les causes de non-conformité, les actions correctives et préventives qui peuvent éliminer ces causes, et aussi les informations issues de la méthode AMDEC sous la forme de table (Figure 70).

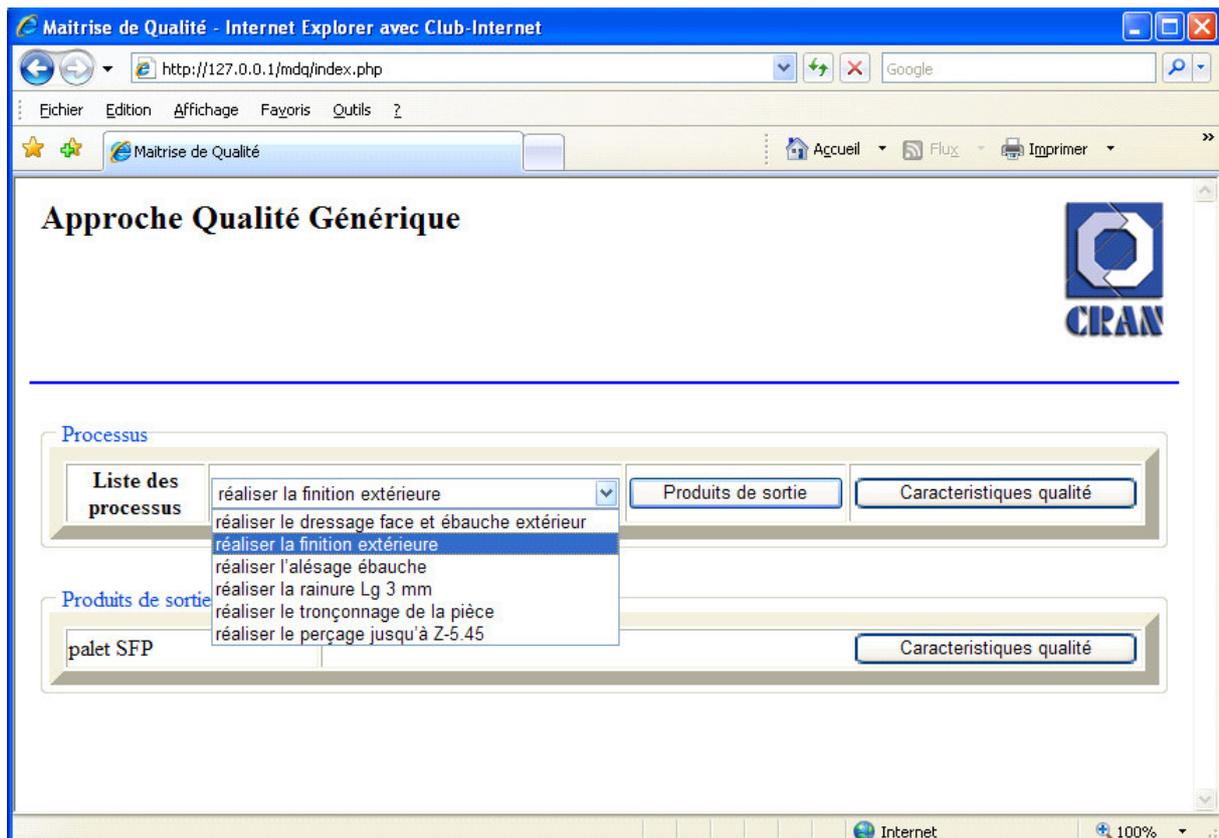


Figure 70. Extrait de la page Web relative au cas d'application

A travers ces pages Web, nous pouvons consulter les différentes informations issues du modèle spécifique. Ces pages Web permettent d'afficher les caractéristiques qualité, les non-conformités correspondantes, les causes de non-conformité, les actions correctives et préventives qui peuvent éliminer ces causes, et aussi les informations issues de la méthode AMDEC sous la forme de table (Figure 71).

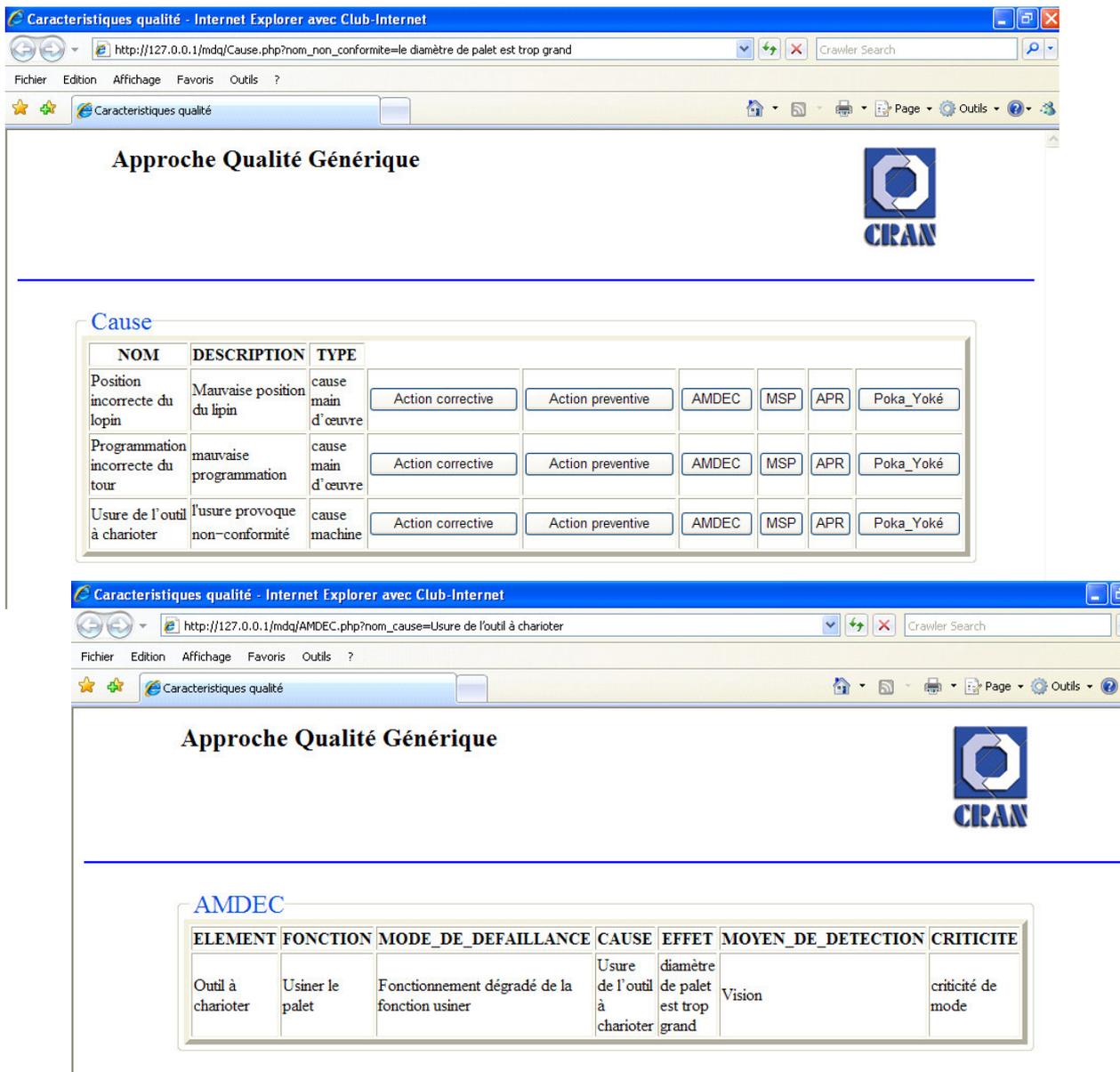


Figure 71. Extrait des pages Web relatives à la méthode AMDEC dans notre cas d'application

Les résultats de l'application de l'approche qualité générique proposée dans cette thèse sur le processus « réaliser la finition extérieure » permettent de :

- montrer que l'« environnement qualité » créé dans MEGA peut supporter de façon efficace la phase de conception et une partie de la phase d'exploitation de l'approche qualité. Cette application n'a pas nécessité la connaissance des méta-modèles supports de l'approche qualité,
- accorder un degré de confiance aux différents méta-modèles développés dans l'approche,

-
- montrer que le guide qualité utilisé permet de guider l'ingénieur qualité pendant les étapes d'instanciation. Ce guide a facilité l'utilisation de notre approche,
 - montrer que la phase d'instanciation répond aux questionnements qualité non nécessairement prévus au départ ce qui rend la démarche plus exhaustive. Par exemple, les questions concernant les actions préventives nous ont contraint à chercher des actions préventives pour éviter, dans une prochaine fabrication de palets (SFP), la non-conformité déclarée,
 - montrer que la phase d'évaluation permet de calculer un niveau de satisfaction du « core value » avant d'utiliser les résultats de la conception dans la phase d'exploitation,
 - montrer que l'utilisation de l'application JAVA facilite la transformation des informations vers la base de données,
 - montrer que la mise à disposition de la connaissance « qualité » à travers des pages Web facilite l'utilisation de cette connaissance à tout moment sur site,
 - montrer que par rapport au cas initial du produit/processus étudié, l'application de cette approche a permis de :
 - définir la plupart des causes relatives à la non-conformité réclamée préalablement,
 - déterminer les actions préventives et correctives qui peuvent éliminer ces causes de non-conformité,
 - proposer des solutions pour éliminer les non-conformités elles-mêmes.

IV. Conclusion

Nous avons mis en évidence, dans la première partie de ce chapitre, que notre approche qualité est utilisable de la phase de conception jusqu'à la phase d'exploitation d'un processus de maîtrise de la qualité d'un produit/processus. Dans ce sens, nous avons présenté la démarche suivie pour automatiser cette approche globale en s'appuyant sur l'outil MEGA que nous avons modifié pour qu'il prenne en compte nos différents méta-modèles. Cette modification est enregistrée dans un environnement spécifique de MEGA appelé « environnement qualité » autour duquel gravitent plusieurs diagrammes représentant l'interface de notre approche. Pour créer le guide qualité, des règles de modélisation ont été ajoutées aussi en lien avec les méta-classes issues de nos méta-modèles. À travers ces diagrammes et à l'aide du guide qualité, cet « environnement qualité » nous a permis d'exploiter notre approche dans une phase d'instanciation des différents méta-modèles. Le résultat de cette instanciation est un modèle spécifique qui contient la connaissance qualité issue du cas étudié. Cette connaissance, qui est enregistrée dans la base de données de MEGA, est ensuite extraite sous forme d'un fichier XML pour être, après plusieurs reformatage stockée dans la base de données « MdQ » et affichée à travers des pages Web.

Dans la deuxième partie de ce chapitre, et dans l'objectif de valider et montrer la faisabilité de notre approche, nous l'avons expérimenté sur un processus type de tournage. Cette expérimentation a été réalisée de la phase de conception qui se termine par l'obtention du modèle spécifique et par le calcul des indicateurs qualité, jusqu'à la phase d'exploitation qui se termine par l'affichage des informations qualité, issues du modèle spécifique, dans les pages Web.

Conclusion générale et perspectives

Nous avons mis en évidence dans cette thèse l'intérêt d'une formalisation du processus qualité qui se décline sur les différents niveaux structurels en entreprise dans l'objectif de maîtriser et d'améliorer conjointement la qualité du produit/processus de production (« core value » ciblé). Nous proposons en ce sens une approche générique qualité, en cohérence avec le TQM, qui permet de formaliser et intégrer un processus qualité afin de contribuer à la performance globale de l'entreprise. Ce travail a été enclenché initialement pour répondre aux besoins industriels de l'entreprise ALSTOM-Moteurs lors de son changement de site de Nancy vers Champigneulle.

Nos travaux sur la modélisation (formalisation) d'un processus qualité se justifient par le manque d'une approche générique qui formalise et intègre ce processus aussi bien dans les différents niveaux structurels (intégration verticale) qu'avec les autres processus tel que le processus maintenance (intégration horizontale).

Pour arriver à cette conclusion, nous avons examiné, des modèles existants pour la formalisation et l'intégration d'un processus qualité en entreprise, et les méthodes et méthodologies complétant ces modèles, dans un but global d'identifier quels pouvaient être les points communs et recoupements entre ces différents travaux. Il est apparu clairement que, premièrement, les modèles proposés n'englobent pas toutes les activités qualité relatives à la maîtrise et à l'amélioration conjointes du produit/processus, et deuxièmement, que les méthodes et méthodologies dédiées à ce « core value » sont peu formalisées. Ce manque de formalisation est d'autant plus vrai pour le TQM pour la formalisation de l'interdépendance entre ses trois composants : « core value », méthodologies et méthodes/outils.

Afin de répondre à ce manque de formalisation et d'intégration du processus qualité, nous avons proposé une approche qualité générique (indépendante de toute application). Cette approche, sous la forme d'un guide à suivre, formalise un processus qualité au niveau tactique en intégration avec les niveaux opérationnel et stratégique de l'entreprise. Cette approche se positionne en cohérence avec le TQM (formalisation de l'interdépendance entre les trois composantes) dans l'objectif de supporter le « core value » requis. Ainsi, la finalité de cette approche est de formaliser le processus qualité comme un véritable processus au sens système.

L'aspect générique de l'approche est supporté par :

- la formalisation des concepts du processus qualité de niveau tactique en lien avec le niveau stratégique. Cette formalisation permet de matérialiser une méthodologie dans le cadre du TQM,

- l'extension de la modélisation du processus qualité vers le niveau opérationnel. Cette extension permet de matérialiser l'interdépendance entre la méthodologie et quelques méthodes/outils de support dans le TQM (modélisation des objets communs),
- la modélisation des indicateurs qualité dans l'objectif d'évaluer l'approche qualité (phase d'évaluation). Cette phase permet de formaliser l'interdépendance entre la méthodologie et le « core value » choisis dans le TQM.

Pour structurer les différentes étapes de modélisation réalisées dans le cadre de cette approche, nous nous sommes positionnés dans le cadre de modélisation Zachman.

Cette approche développée en cohérence avec le contexte normatif relatif à la qualité peut donc être employée pour plusieurs classes d'applications issues de domaines industriels différents. Cette application se matérialise principalement par une procédure d'instanciation des méta-modèles supports à la généricité. En effet, l'approche se construit sur les trois étapes suivantes :

- l'extraction (acquisition) de la connaissance qualité : méta-modélisation des concepts qualité (méta-modèles des objets et des activités) issus de la norme ISO9000:2000, la norme IEC62264 et les méthodes qualité : AMDEC, MSP, Poka-yoké et APR (Analyse Préliminaire de Risques),
- l'instanciation des différents méta-modèles, résultant de la première étape, pour aboutir au modèle spécifique qui contient la connaissance qualité de maîtrise conjointe du produit/processus étudié,
- l'extraction et l'exploitation de la connaissance encapsulée dans ce modèle spécifique.

Pour faciliter l'utilisation de l'approche qualité (en regard des 3 étapes précédentes), de la phase de conception jusqu'à la phase d'exploitation du processus de maîtrise de la qualité, cette approche a été automatisée à l'aide de l'outil MEGA. À travers cette automatisation, dans la phase de conception, notre approche permet de développer un modèle spécifique résultant de la phase d'instanciation du méta-modèle global support de cette approche. Pendant cette phase, l'approche offre à l'ingénieur qualité un guide (règlement de modélisation) pour construire le modèle spécifique. A la fin de cette phase de conception, les indicateurs qualité permettent de calculer le degré de satisfaction de la maîtrise et de l'amélioration de la qualité lié au « core value » ciblé. Pour la phase d'exploitation, la connaissance formalisée et structurée dans le modèle spécifique (l'ensemble des instances), qui est enregistrée dans la base de données de MEGA, est directement transposable, sous la

forme d'un fichier XML, dans la base extérieure « MdQ ». Cette transformation a été réalisée à l'aide d'une application JAVA qui est développée pour cet objectif. Cette connaissance est mise à disposition via une interface compréhensible par l'opérateur sous la forme de pages Web sur site pour mieux suivre et anticiper les dérives qualité du produit/processus.

Pour valider la faisabilité de l'approche qualité nous avons expérimenté cette approche sur un cas d'application d'un processus de type tournage. Durant cette expérimentation, l'approche a été utilisée depuis la phase de conception, qui se finit par un modèle spécifique, jusqu'à la phase d'exploitation qui se termine par une consultation de la connaissance qualité, encapsulée dans le modèle spécifique, à travers des pages Web.

Perspectives liées à ces travaux

De nombreuses perspectives sont envisagées pour étendre et crédibiliser cette approche qualité. Nous pouvons citer prioritairement **sur la phase de conception**:

- une validation plus poussée de l'approche qualité sur un cas industriel concret afin de valider et d'évaluer la valeur ajoutée de cette approche qualité. Cette étape permettra également d'éprouver le formalisme des concepts qualité et leur possibilité de traiter de grandes quantités de processus en entreprise (passage à l'échelle).
- un " élargissement " de l'approche qualité par une méta-modélisation des nouveaux concepts qualité extraits des autres méthodes et outils qualité pour qu'elle soit capable de répondre quasiment à tous les problèmes de type qualité produit/processus et management rencontrés dans l'entreprise.
- une méta-modélisation des autres concepts qualité issus de la norme ISO9000:2000 qui peuvent aider les entreprises à effectuer leur certification (vers le niveau management).
- une méta-modélisation d'autres « modelling constructs » qui permettent de limiter l'interprétation de quelques méta-classes représentant nos différents méta-modèles. Cette requête d'utilisation de nouveaux « modelling constructs » peut être consécutive aux phases d'expérimentation, sur des cas d'applications différents, de l'approche.
- une extension de cette approche pour qu'elle intègre la qualité, au niveau stratégique, avec sa vision plus 'managériale' et d'autres processus plus 'business' comme le CRM (Customer Relationship Management) et le SCM (Supply Chain Management), ...

- une proposition de nouveaux indicateurs qualité couvrant plus globalement une évaluation qualité. L'objectif de cette proposition est d'augmenter la fiabilité du résultat d'évaluation de cette approche, à la fin de la phase de conception, avant utiliser la connaissance qualité résultant de cette phase dans la phase d'exploitation.
- donner la possibilité, à travers l'« environnement qualité » dans MEGA, de calculer automatiquement les différents indicateurs qualité, intégrés dans cette approche, à la fin de la phase de conception. Ce calcul est théoriquement possible en exécutant, dans MEGA, un VB script qui explique la construction et les modes de calcul de ces indicateurs.

D'autres perspectives concernant l'utilisation de cette approche **dans la phase d'exploitation** peuvent aussi être envisagées :

- donner à l'opérateur la possibilité de saisir des informations (données), relatives au processus étudié, sur les pages Web "qualité" pour qu'il puisse cheminer dans la base de façon plus automatique et accéder à toute la connaissance qui lui est nécessaire face au problème posé.
- connecter directement la base de données (disponible sur site) au système d'informatique industriel (niveau terrain) pour que certaines occurrences ou certains paramètres des tables soient ajoutés, modifiés en « temps réel ». L'opérateur pourra être directement sollicité par les résultats de ces actions (i.e. création d'une non-conformité suite à une observation directe par capteur).
- connecter la base de données directement aux bases des outils supports comme le MES (Manufacturing Execution System), l'ERP (Enterprise Resource Planning), ... pour remettre à jour aussi des « objets » qui sont utilisés dans le processus décisionnel en qualité...

Bibliographie

- [Abdmouleh 2004] Abdmouleh, A. *Composants pour la modélisation des processus métier en productique, basés sur CIMOSA*. Thèse de doctorat de l'Université de Metz, France, 2004.
- [Afnor 1996] Afnor. *Méthodes statistiques, tome 4, Maîtrise Statistique des Processus*. 7ème édition AFNOR. Paris, 1996.
- [Ahire 1995] Ahire, S., L. R. Landeros et M. A. Waller. *Total quality management: A literature review and an agenda for future research*. Production and Operations Management, Vol 4(3), pp.277-306, 1995.
- [Akao 1990] Akao, Y. ed. *Quality Function Deployment, Productivity Press*. Cambridge MA, 1990.
- [Amice 1993] Amice. *CIMOSA: Open System Architecture for CIM*. Deuxième révision et version étendue, Springer Verlag, Berlin, 1993.
- [Ament 2001] Ament, C. et G. Goch. *A Process Oriented Approach to Automated Quality Control*. Annals of the CIRP, pp.251-254, 2001.
- [Anderson 1995] Anderson, J. C., M. Rungtusanatham., R. G. Schroeder et S. Devaraj. *A path analytic model of a theory of quality management underlying the Deming management method: Preliminary empirical findings*. Decision Scientific, vol. 26(5), pp. 637–658, 1995.
- [Apics 1992] APICS Dictionary. 7 th Edition. 1992
- [Babus 2005] Babus, F., A. Kobi et I. C. Bacivarov. *Statistical process control and automatic process control*. In proceedings of QUALITA 2005, Bordeaux –France, 2005.
- [Bayazit 2007] Bayazita, O. et B. Karpakb. *An analytical network process-based framework for successful total quality management (TQM): An assessment of Turkish manufacturing industry readiness*. International Journal of production Economics, 105(1), pp.79–96, 2007.
- [Bechard 2001] Bechard, B-M. et J. P. Raïche. *Choisir judicieusement parmi les outils de la qualité : un facteur déterminant pour le succès des démarches qualité des organisations*. In proceedings of Qualita 2001, Annecy-France, 2001.
- [Bennour 2004] Bennour, M. *Contribution à la Modélisation et à l'Affectation des Ressources Humaines dans les Processus*. Thèse de doctorat de l'Université Montpellier II, France, 2004
- [Bernard 2001] Bernard, F. et M. Pillet. *Analyse des défauts pour l'amélioration de la qualité (ADAQ)*. In proceedings of Qualita 2001, Annecy, France, 2001.
- [Bernus 2003] Bernus, P. *Enterprise models for enterprise architecture and ISO9000:2000*. Annual Reviews in Control 27, pp.211–220, 2003.
- [Blaise 2000] Blaise, J.C. *Apport d'une modélisation l'information normative à l'intégration des règles de sécurité des machines en conception*. Thèse de doctorat de l'université Henri Poincaré- Nancy I, France, 2000.

- [Booch 2000] Booch G., I. Rumbangh et I. Jacobson. *Le guide de l'utilisateur UML*. Traduit de l'anglais par la société Alinter, ISBN : 2-212-09103-6, Ed. EYROLLES, 2000.
- [Bounds 1994] Bounds, G., L. Yorks., M. Adams et G. Ranney. *Beyond Total Quality Management—Toward the Emerging Paradigm*. McGraw-Hill International Editions, Singapore, 1994.
- [Braesch 1995] Braesch, C., A. Haurat, J.-M. Beving. *L'entreprise-système. Dans La modélisation systémique en entreprise*, Hermès, Paris, 1995.
- [Brane 2002]. Brane, K. et P. Bernus. *Business process modelling in industry-the powerful tool in enterprise management*. Computers in industry, Vol 47(3), pp.299-318, 2002.
- [Breyfogle 2003] Breyfogle, F. W. *Implementing Six Sigma: Smarter Solutions Using Statistical Methods*. Par, Edition John Wiley and Sons, 2003.
- [Buglione 2001] Buglione, L. et A. Abran. *QF²D: Quality Factor through QFD application*. Qualita 2001, Annecy- France, 2001.
- [Bunney 1997] Bunney, H.S. et B.G. Dale. *The implementation of quality management tools and techniques: A study*. The TQM Magazine, Vol 9(3), pp.183–189, 1997.
- [Calvez 1992] Calvez, J. P. *Spécification et conception des systèmes, une méthodologie*. Editions Masson, 1992
- [Carr 1999] Carr, G. *MSP for continuous Processes*. Intel Corp Chemical Engineering, June 1999
- [Cassady 2000] Cassady, R.C., R.O. Bowden et E.A. Pohl. *Combining preventive maintenance and statistical process control: A preliminary investigation*. IIE Transactions Vol 32(6), pp.471–478, 2000.
- [Cattan 2006] Cattan, M., N. Idrissi et P. Knockaert. *Maîtriser les processus de l'entreprise*. Edition d'organisation, 2006.
- [CEI 1985] CEI-Norme X60-510. *Techniques d'analyse de la fiabilité des systèmes procédure d'analyse des modes de défaillance et de leurs effets (AMDEC)*. 1985.
- [Chase 1998] Chase, R. B., N. J. Aquilano et F. R. Jacobs, *Production Opération Manage: Manufacturing and Services*. 8 ed. Boston, MA: McGraw-Hill, 1998.
- [Chelli 2003] Chelli, H. *Urbaniser l'entreprise et son système d'information*. Edition Vuibert, 2003.
- [Cherfi 2002] Cherfi Z. *La qualité : démarches méthodes et outils*. Edition Hermes, 2002.
- [Chinyao 2003] Chinyao, L., C. M. Hsu et F. J. Yu. *Analysis of variations in a multi-variate process using neural networks*. The international Journal of Advanced manufacturing technology, Vol 22(11-12), pp.911-921, 2003.
- [Chové 1992] Chové, J. *la dernière avancé de l'école française de la qualité*. Dans « gérer et assurer la qualité ». tome1. 1992

- [Clavier 1997] Clavier, J. *Qualité et qualitique*. Techniques de l'Ingénieur, Vol 3 (n°A8 750), pp. 1-21, 1997.
- [Dale 1990] Dale, B. G. et D. M. Lascelles. *The use of quality management techniques*. Quality Forum Journal, Vol 16 (4), pp.188-92, 1990.
- [Dale 1998] Dale, B.G. et R. McQuater. *Managing Business Improvement & Quality: Implementing Key Tools and Techniques*. Blackwell Business, Oxford, UK, 1998.
- [Daniel 2006] Daniel, I. P. et A. S. Sohal. *The relationship between organization strategy, total quality management (TQM), and organization performance—the mediating role of TQM*. European Journal of Operational Research, Vol 168(1), pp.35–50, 2006.
- [Deeb 2005] **Deeb, S** et B. IUNG. *Apport d'une modélisation de l'approche normative processus à la qualité de produits manufactures*. In proceedings of 6ème Congrès International Pluridisciplinaire, Qualité et Sûreté de Fonctionnement QUALITA 2005, Bordeaux -France, 2005.
- [Deeb 2006] **Deeb, S** et B. IUNG. *ISO9000 Based Advanced Quality Approach for Continuous Improvement of Manufacturing Processes*. In proceedings of the 12th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing, St-Etienne- France, 2206.
- [Deeb 2007a] **Deeb, S** et B. IUNG. *Advanced quality approach for formalising the interdependence between the TQM components*. In proceedings of the 4th CIRP International Working Conference Total Quality management, Advanced & Intelligent Approaches, Belgrade-Serbie-Montenegro, (2007). Sélectionnée et publiée dans l'International Journal of Total Quality Management & Excellence, Vol 35, No 3, 2007.
- [Deeb 2007b] **Deeb, S** et B. IUNG. *Vers une approche qualité générique pour une maîtrise conjointe de la qualité du produit et des processus supports à sa production*. Sciences et Technologies de l'Automatique « e-sta », Vol 5(1), 2008.
- [Deeb 2007c] **Deeb, S** et B. IUNG. *Vers une approche formalisée, en entreprise, de la maîtrise conjointe de la qualité produit/processus de production*. In proceedings of the 2èmes Journées Doctorales / Journées Nationales MACS, JD-JN-MACS, JD-JN-MACS, Reims – France, 2007.
- [Defourny 1996] Defourny, V. et D. Noyé. *Du bon usage des mots de qualité*. INSEP Editions, Paris 1996.
- [Dellea 2002] Dellea, M., B. Iung., J. Richard et G. Ragni. *Modelling of an ALSTOM electrical engine manufacturing line according to process approach advocated by standard ISO9000:2000*. In Proceeding of the 5th IEEE/IFIP international conference, Mexico2002.
- [Dessinoz 2000] Dessinoz, J. D. *Beyond Information Era: Cognition and Cognitics for managing complexity; the case of 'Enterprise' from a holistic perspective*. In proceedings of the annual conference of ICIMS-NOE, Bordeaux, France 2000.
- [Devillers 2004] Devillers, R., Y. Bédard et M. Gervais. *Indicateurs de qualité pour réduire les risques de mauvaise utilisation des données géospatiales*. Revue Internationale de Géomatique, vol 14 (1), pp. 35-57, 2004.

- [DF X50-171 2000] la norme X50-171. *Qualité et management des indicateurs et tableaux de bord qualité*. Éditions AFNOR, 2000.
- [Domenc 1997] Domenc, M. *La qualité par la mise en oeuvre d'une ingénierie collective dans la maîtrise des processus*. In proceedings of The Deuxième congrès international franco-québécois de génie industriel, ALBI-France, 1997.
- [Dominique 2003], Dominique, H. *Apport des méthodologies d'analyses systémiques dans la préparation à la certification ISO90001:2000 d'une PMI*. Diplôme postgrade en informatique et organisation. Université de LAUSANNE, France, 2003.
- [Dreyfus 2004] Dreyfus, L. P.; S. L. Ahire et M. Ebrahimpour. *The Impact of Just-In-Time Implementation and ISO9000 Certification on Total Quality Management*. IEEE Transactions on Engineering Management, Vol 51(2), pp. 125-141, 2004.
- [Duffuaa 2004] Duffuaa, S. O., S. N. Khurshed et S .M. Noman. *Integrating statistical engineering process control and Taguchi's quality engineering*. International Journal of Production Research, Vol 42 (19), pp. 4109-4118, 2004.
- [Dumke de Medeiros 1998] Dumke de Medeiros, D. *Le projet de certification ISO 9002: aide au choix et caractérisation des différentes démarches*. Thèse de doctorat de l'Institut National Polytechnique de Grenoble, France, 1998.
- [Elsayed 1995] Elsayed, E. A., J. L. Ribeiro et M. K. Lee. *Automated process control and quality engineering for processes with damped controllers*. International journal of production research, Vol 33 (10), pp. 2923-2932, 1995.
- [Ettlie 1994] Ettlie, J. E. and Johnson, M. D. *Product development benchmarking versus customer focus in applications of quality function deployment*. Marketing Letters, Vol 5(2), pp.107–116, 1994.
- [Eriksson 2004] Eriksson, H. *Organisational Value of Participating in Quality Award Processes*. PhD these Luleå University of Technology, Sweden, 2004.
- [Evans 1997] Evans, J. R. *Critical linkages in the Baldrige Award criteria: Research models and educational challenges*. Journal of Quality Management. Vol 5(1), pp. 13–30, 1997.
- [Evans 1999] Evans, J. R. et W. M. Lindsay. *The Management and Control of Quality*. South-Western College Publishing, Cincinnati, OH, 1999.
- [FD X50-176 2000] la norme DF X 50 -176. *Management des processus*. Éditions AFNOR, 2000
- [Fernandez 2000] Fernandez, A. *Les nouveaux tableaux de bord des décideurs*. Paris, Editions d'organisation, 2000.
- [Fleurquin 1996] Fleurquin, R. *Proposition d'une démarche qualité logicielle pour les PME. Un modèle d'évaluation de la qualité et des critères et conseils permettant sa mise en oeuvre à travers les outils et les méthodes*. Thèse de doctorat de l'Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse, France, 1996.

- [Flynn 1994] Flynn, B. B., R. G. Schroeder et S. Sakakibara. *A framework for quality management research and an associated instrument*. *Journal of Operations Management*, Vol 11(4), pp.339-366, 1994.
- [Forest 2006] Forest, J. et J. P. Micaëlli. *Les indicateurs de conception*. Documents AFNOR indicateurs et tableaux de borde, article IV-20-10, 2006.
- [Forman 1995] Forman, B. *Le manuel qualité, outils stratégique d'une démarche qualité*. Edition AFNOR, France, 1995
- [Forman 1998] Forman, B. *Le manuel qualité, outil stratégique d'une démarche qualité*. Edition AFNOR, France, 1998.
- [Forman 2001] Forman, B. *Du manuel qualité au manuel de management*. Edition AFNOR, France, 2001.
- [Foulquié 1982] Foulquié, P. *Dictionnaire de la langue philosophique*. Presses universitaires de France, 4^e édition, Paris 1982.
- [Franchini 1997] Franchini, L., E. Caillaud et G. Lacoste. *Conduite des systèmes industriels de type PME/PMI : Problématique, état de l'art et pistes de recherche*. In proceedings of the deuxième Congrès International Franco-Québécois « Le génie industriel dans un monde sans frontière », France, 1997.
- [Gentil 2001] Gentil, M. H., Y. Duco et G. Doumeings. *La méthodologie GRAI pour concevoir ou améliorer un système de management de la qualité*. Qualita 2001, Annecy, France.
- [Gogue 2000] Gogue, J. M. *Traité de la qualité*. Economica, Paris, 2000.
- [Govers 1996] Govers, C. P. M. What and how about quality function deployment (QFD). *International Journal of Production Economics*, Vol 46-47 (1), pp.575-585, 1996.
- [Grant 2006] Grant, D., R. Hall., N. Wailes et C. Wright. *The false promise of technological determinism: the case of enterprise resource planning system*. *New Technology, Work & Employment* 21 (1), pp. 2–15, 2006.
- [GRP 1998] Groupement pour la Recherche en Productique. Séminaire Modélisation d'Entreprise organisé dans le cadre du Programme de Recherche du CNRS PROSPER. « *Système de Production* ». Paris, 1998.
- [Gultekin 2002] Gultekin, M., E. A. Elsayed et J. R. English. *Monitoring automatically controlled processes using statistical control charts*. *International Journal of Production Research*, Vol 40(10), pp. 2303-2320, 2002.
- [Hansson 2001] Hansson, J. *Implementation of total quality management in small organisations: a cas study in sweden*. *Total quality management*, vol12 (7&8), pp. 988-994, 2001.
- [Hansson 2003] Hansson, J. *Total quality management – Aspects of implementation and performance*. These de doctorat de l'University of technology Lulea –Swede, 2003.

- [Haurat 1993] Haurat, A., F. Frédéric, H. Rotival et B. Schweyer. *Le modèle OLYMPIOS pour les entreprises manufacturières*. Document interne, Laboratoire de Logiciels pour la Productique, université de Savoie, 1993.
- [Helen 2003] Helen, H. L. et L. H. Yinlun. *Hierarchical decision making for proactive quality control: system development for defect reduction in automotive coating operations*. Engineering Applications of Artificial Intelligence, Vol 16(3), pp. 237-250, 2003.
- [Hellsten 2000] Hellsten, U. et B. Klefsjö. *TQM as a management system consisting of values, techniques and tools*. The TQM magazine, 12(4): pp. 238-244, 2000.
- [Henry 1999] Henry, T. C., et K. C. Ng. *A model for an integrated manufacturing system implementation in China: a case study*. Journal of Engineering and Technology Management, Vol 16 (1), pp. 83-101, 1999.
- [Heredia 1996] Heredia, J. A., I. S. Fan, F. Romero et P. Rosado. *A framework for an integrated quality system*. Journal of materials Processing Technology, Vol 61(1), pp. 195-200, 1996.
- [Hongen 1995] Hongen, L. et Z. Xianwei. *A systematic planning approach to implementing total quality management through quality function deployment technique*. Computers and Industrial Engineering, Vol 31(3), pp. 747-751, 1995.
- [IEC62264-1 2003] IEC/ISO62264-1. *Enterprise-control system integration - Part 1: Models and terminology*. Edition ISO, 2003.
- [IEC62264-2 2004] IEC/ISO62264-2. *Enterprise-control system integration - Part 2: Model object attributes*. Edition ISO, 2004.
- [IEC62264-3 2007] IEC/ISO62264-3. *Enterprise-control system integration - Part 3: Activity models of manufacturing operations management*. Edition ISO, 2007.
- [IFAC 1997] IFAC-IFIP Task Force. *GERAM, Generalized enterprise reference architecture and methodology (version 1.5)*. IFACMP Task Force on Architecture for Enterprise Integration, 1997.
- [Irani 2004] Irani, Z., A. Beskese et P. E. D. Love. *Total quality management and corporate culture: constructs of organisational excellence*. Technovation, Vol 24(8), pp. 643-650, 2004.
- [ISO 8402 1995] Norme NF EN ISO 8402. *Management de la Qualité et assurance de la Qualité : Vocabulaire*. Edition ISO, 1995.
- [ISO9000 2000] NF EN ISO9000 Version 2000. *Systèmes de management de la qualité, Principes essentiels et vocabulaire*. Edition ISO, 2000.
- [ISO9000 2005] NF EN ISO9000 Version 2005. *Systèmes de management de la qualité, Principes essentiels et vocabulaire*. Edition ISO, 2005.
- [ISO/IEC15288 2002] IEC/ISO15288. *Systems engineering-system life cycle processes*. Edition ISO, 2002.

- [Jung 2002] Jung, B. *Contribution à l'automatisation des systèmes intelligents de production : interopérabilité des processus de contrôle, maintenance et gestion technique*. Habilitation à diriger des recherches, Université Henri Poincaré, Nancy I, 2002.
- [Jaideep 2001] Jaideep, M. *Critical factors and performance measures of TQM*. The TQM Magazine. Vol 13(4), pp.292-300, 2001.
- [John 2000] John, J. C., K. L. Jeffrey et C. W. Chelsea. *Customer-Driven Product Development Through Quality Function Deployment in the U.S. and Japan*. Journal of Product Innovation Management, Vol 17(4), pp. 286-308, 2000.
- [Johnson 2003] Johnson, K.G. et M.K. Khan. *A study into the use of the process failure mode and effects analysis (PFMEA) in the automotive industry in the UK*. Journal of Materials Processing Technology, Vol 139 (1), pp. 348–356, 2003.
- [Joo 2006] Joo, Y. J. et Y. J. Wang. *Relationship between total quality management (TQM) and continuous improvement of international project management (CIIPM)*. Technovation, Vol 26(5-6), pp. 716–722, 2006.
- [Joucla 2000] Joucla, E. *Amélioration de l'efficacité des actions correctives d'un système qualité*. Thèse de doctorat de l' INP Grenoble, France, 2000.
- [Juan 2004] Juan, J. T. et S. Vicente. *Quality tools and techniques: Are they necessary for quality management*. *International journal of Production Economics*, Vol 92(3), pp. 267-280, 2004.
- [Juan 2005] Juan, J. T. *Components of successful total quality management*. The TQM Magazine, Vol 17 (2), pp. 182 – 194, 2005.
- [Klefsjö 2001] Klefsjö, B. H. Wiklund et R. L. Edgeman. *Six sigma seen as a methodology for total quality management*. *Measuring Business Excellence*, Vol 5(1), pp. 31 – 35, 2001.
- [Kosanke 1997] Kosanke, K. et M. Zelm. *CIMOSA and its application in an ISO9000 process model*. In proceedings of the IFAC Workshop on Manufacturing Systems: Modelling, Management and Control (MIM'97), Vienne, 1997.
- [Lamine 2001] Lamine, E. *Définition d'un modèle de propriété et proposition d'un langage de spécification associé : LUSP*. Thèse de doctorat de l'Université de Montpellier II, France, 2001.
- [Le Moigne 1977] Le Moigne, J-L. *La Théorie du Système Général*. Éditions PUF. 1977.
- [Lérat-Pytlak 2002] Lérat-Pytlak, J. *Le passage d'une certification ISO 9001 à un management par la qualité totale*. Thèse de doctorat de l'Université des Sciences Sociales-Toulouse I, France, 2002.
- [Lhoste 1994] Lhoste, P. *Contribution au génie automatique : concepts, modèles, méthodes et outils*. Habilitation à diriger des recherches, Université Henri-Poincaré, Nancy I, 1994.
- [Linderman 2005] Linderman, K., E. Kathleen, S. McKone et A. C. John. *An integrated systems approach to process control and maintenance*. *European Journal of Operational Research*, Vol 164(2), pp.324–340, 2005.

- [Loh 2004] Loh, T. C., S. C. L. Koh. *Critical elements for a successful ERP implementation in SMEs*. International Journal of Production Research, Vol 42 (17), pp. 3433–3455, 2004.
- [Longépé 2001] Longépé, C. *Le projet d'urbanisation du système d'information : Démarche pratique avec cas concret*. Dunod, 2001
- [Lopez 2006] Lopez, R. *D'un système de management de la qualité basé sur l'amélioration à un système de management de la qualité basé sur les connaissances*. Thèse de doctorat de l'Institut National polytechnique de Grenoble, France, 2006.
- [Mallet 2004] Mallet, C. *L'appropriation d'une TIC par des utilisateurs, un nouveau paramètre pour la gestion de projet*. Université de Metz, Doctoriales du GDR TIC& Société 28-29 janvier, 2004.
- [Mannarino 1997] Mannarino, G. S., G. P Henning et H. P. Leone. *Computers & Chemical Engineering: Modeling Support Tools*. Computers chem Engng, Vol 21, pp. 667-672, 1997.
- [Manufuture 2006]. STRATEGIC RESEARCH AGENDA. *assuring the future of manufacturing in Europe*. Manufuture Platform full report n° 1/2006.
- [Marcotte 1995] Marcotte, F. *Contribution à la modélisation des systèmes de production : extension du modèle GRAI*. Thèse de doctorat de l'université bordeaux1, France, 1995.
- [Massimo 2004] Massimo, P., Q. Semeraro et A. Anglani. *Manufacturing quality control by means of a Fuzzy ART network trained on natural process data*. Engineering Applications of Artificial Intelligence, Vol 17(1), pp. 83 –96, 2004.
- [Mayer 1995] Mayer F. *Contribution au Génie Productique : application à l'Ingénierie pédagogique en Atelier Inter-Etablissements de Productique Lorrain*. Thèse de doctorat de l'Université Henri Poincaré, Nancy I, 1995.
- [McClusky 2000] McClusky, R. *The Rise, fall, and revival of six sigma*. Measuring Business Excellence, Vol 4 (2), pp. 6–17, 2000.
- [Meillier 1994] Meillier, L. *Une proposition de modélisation du système qualité des entreprises- application au diagnostic qualité avec QUALIDIAG*. Thèse de doctorat de l'Université de FRANCHE-COMTE en automatique et informatique, France, 1994.
- [Mellor 2004] Mellor, S. J., S. Kendall, A. Uhl, et D. Weise. *Model Driven Architecture*. Addison-Wesley Pub Co. ISBN 0201788918, 2004.
- [Mertins 1999] Mertins, K. et R. Jochem. *Quality-Oriented Design of Business Processes*, éditions Kluwer Academic Publishers Group, ISBN 0-7923-8484-9, 1999.
- [Meunier 2003] Meunier, M. *Optimiser les processus et les ressources de production*. Les dossiers, Pôle Productique Rhône Alpes, 2003
- [Miller 2003] Miller J. et J. Mukerji. *MDA Guide Version 1.0*, OMG Document: omg/2003-05-01, http://www.omg.org/mda/mda_files/MDA_Guide_Version1-0.pdf, May, 2003

- [Naumenko 2003] Naumenko, A. et A. Wegmann. *Two Approaches in System Modelling and Their Illustrations with MDA and RM-ODP*. In the proceeding of the *ICEIS 2003, the 5th International Conference on Enterprise Information Systems*, p. 398-402, (2003).
- [Neunreuther 1998] Neunreuther, E. *Contribution à la Modélisation des Systèmes Intégrés de Production à Intelligence Distribuée : Application à la distribution de la Commande et de la Gestion Technique sur les équipements de terrain*. Thèse de doctorat de l'Université Henri Poincaré, Nancy I, France, 1998.
- [NF X 50 1992] norme NF X 50-120. "*Qualité, vocabulaire in "gérer et assurer la qualité"-tome 1*". Edition AFNOR-paris, 1992.
- [NF ISO10012 2003] norme NF EN ISO 10012. *Système de management de la mesure - Exigences pour les processus et les équipements de mesure*. Edition AFNOR-paris, 2003.
- [Nilsson 2005] Nilsson, W. L., M. Antoni et J. Dahlgaard. *Continuous improvement in product development, improvement programs and quality principles*. Int journal of quality & reliability management, Vol 22(8), pp 753-768, 2005.
- [Oussalah 1997] Oussalah, C. *Ingénierie Objet, Concepts et techniques*. ISBN 2-7296-60642-4, Edition Dunod 1997.
- [Palmberg 2005] Palmberg, K. *Experiences of Process Management*. Thèse de doctorat de l'Université of Technology, Luleå, Sweden, 2005.
- [Panetto 1991] Panetto, H. *Une contribution au génie automatique : le prototypage des machines et système automatisés de production*. Thèse de doctorat de l'Université Henri Poincaré- Nancy1, France, 1991.
- [Panetto 2006] Panetto, H. *Meta-modèles et modèles pour l'intégration et l'interopérabilité des applications d'entreprises de production*. Habilitation à diriger des recherches, Université Henri Poincaré, Nancy I, 2006.
- [Pillet 1993] Pillet, M. *Contribution à la maîtrise statistique des procédés - Cas particulier des petites séries*, Thèse de doctorat de l'Université de Savoie, France, 1993.
- [Pillet 1999] Pillet, M., *Contribution à la maîtrise de la qualité des produits industriels*, Habilitation à diriger des recherches, Université de savoie, 1999.
- [Pillet 2003] Pillet, M., A. Laetitia, J. L. Maire et V. Bronet. *L'Automaîtrise: Une approche formelle de la performance des postes de production*. in the proceeding of the (CPI 2003), Meknès, Maroc, 2003.
- [Pillet 2004] Pillet, M. *Six Sigma : comment l'appliquer*. Edition d'organisation, 2004.
- [Pujo 2002] Pujo, P. et M. Pillet. *Control by quality: proposition of a typology*. Quality Assurance, Vol 9(2), pp. 99-125, 2002.
- [Ramseyer 2002] Ramseyer, C. *Prototypage de la maîtrise de la qualité d'un processus de production à base de la norme ISO9000 version 2000 : application à la ligne de fabrication d'Alstom Moteurs*. Rapport de recherche de DEA, Université Henri Poincaré, Nancy I, 2002.

- [Ravichandran 2000] Ravichandran, T. et A. Rai. *Quality management in systems development: An organizational systems perspective*. MIS Quarterly, Vol 24(3), pp. 381-415, Sept. 2000.
- [Reeves 1994] Reeves, C. A. et D. A. Bednar. *Defining quality. Alternatives and implications*. Academy of Management Review, Vol 19(3), pp. 419-445, 1994.
- [Richard 1994] Richard, J., E. Rondeau et E. Bajic. *Quality management of the manufacturing process in a CIM architecture*. Computer integrated systems, Vol 7(3), pp. 179-190, 1994.
- [Rodney 2006] Rodney, M., L. Denis, H. Joan et H. Shirley-Ann. *A grounded theory research approach to building and testing TQM theory in operations management*. Omega accepted 21 April, 2006.
- [Samson 1999] D. Samson and M. Terziovski, *The relationship between total quality management practices and operational performance*. Journal of Operations Management, Vol 17(4), pp. 393-409, 1999.
- [Sangyoon 2004] Sangyoon, C., K. Kyungrai et K. Yea-Sang. *A process-based quality management information system*. Automation in Construction, Vol 13(2), pp. 241-259, 2004.
- [Sanjay 2001] Sanjay, L. A. et T. Ravichandran. *IEEE transactions on engineering management*, Vol 48(4), pp 445-464, 2001
- [Seidewitz 2003] Seidewitz, E. *What Models Mean*. IEEE Software, Vol 20(5), pp. 26 – 32, 2003.
- [Senechal 2004] Senechal, O. *Pilotage des systèmes de production vers la performance globale*. Habilitation à diriger des recherches, Université de Valenciennes et du Hainaut Cambrésis, 2002.
- [Shewhart 1989] Shewhart, W. A. *Les fondements de la maîtrise de la qualité*. Traduire par Jean-Marie Gogue. Edition economica- paris, 1989.
- [Shiba 1997] Shiba, S. *Quatre révolutions du Management par la Qualité Totale*. Edition Dunod, Paris, 1997.
- [Sila 2002] Sila, I. et M. Ebrahimpour. *An investigation of the total quality management survey based research published between 1989 and 2000: A literature review*. International Journal of Quality & Reliability Management, Vol 19(7), pp.902-970, 2002.
- [Shingo 1987] Shingo, S. *Le système poka-yoke : zéro défaut = zéro contrôle*, Les éditions d'organisation, Paris, 1987.
- [Sowa 1992] Sowa, J. F. et Zachman, J. A. *Extending and Formalizing the Framework for Information Systems Architecture*. IBM Systems Journal, Vol. 31(3), pp. 590 – 616, 1992.
- [Spur 1996] Spur, G., K. Mertins et R. Jochem. *Enterprise integration modelling*. Beuth Verlag, Berlin, 1996.
- [Stefan 2006] Stefan, L. *A dive into the depths of quality management*. European Business Review, Vol 18(2), pp: 84-96, 2006.

- [Svensson 2006] Svensson, G. *Sustainable quality management: a strategic perspective*. The TQM magazine, Vol 18(1), pp 22-29, 2006.
- [Tummala 1996] Tummala, V. M. R. et C.L. Tang. *Strategic Quality Management, Malcolm Baldrige and European Quality Awards and ISO 9000 Certification: Core Concepts and Comparative Analysis*. International Journal of Quality and Reliability Management, Vol 13(4), pp. 8-38, 1996.
- [UML 2003] *UML 1.5 specification*, OMG. [http://: www. orm.org](http://www.orm.org), 2003.
- [Vernadat 1996] Vernadat, F. B. *Enterprise Modeling and Integration: Principles and Applications*. Chapman & Hall, London. 1996
- [Vernadat 1999a] Vernadat, F.B. *Enterprise modeling and integration-myth or reality*. In the proceedings of CARS&FOF 99 Conference, Aquas de Lindoia, Brazil. 1999.
- [Vernadat 1999b] Vernadat, F.B. *Techniques de Modélisation en Entreprise : Applications aux Processus Opérationnels*. Editions Economica, 1999.
- [Vernadat 2002] Vernadat, F. B. *Enterprise modeling and integration (EMI): current status and research perspectives*. Annual Reviews in Control, Vol 26(1), pp. 15-25, 2002.
- [Verron 2007] Verron, S., T. Tiplica et A. Kobi. *Fault detection and identification with a new feature selection based on mutual information*. Journal of Process Control, article in press (2007), doi :10.1016/j.jprocont.2007.08.003.
- [Villalonga 2003] Villalonga, C. *L'audit qualité interne*. ISBN 2 10 005196 2. Edition Dunod, Paris 2003.
- [Waldner 1992] Waldner, J. B. *CIM: Principles of Computer Integrated Manufacturing*. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, p47. ISBN 047193450X, 1992.
- [Weckenmann 2004] Weckenmann, A. et K. Zwolinski. *Future challenge in quality management*. In the proceeding of the 11th International CIRP Life Cycle Engineering Seminar Product Life Cycle - Quality Management, Belgrade, Serbia 2004.
- [Werner 2001] Werner, A. J. S. *An integrated approach to process control*. International Journal of Production Economics, Vol 69(1), pp. 93-105, 2001.
- [Wilson 2000] Wilson, D. D. et D. A. Collier. *An empirical investigation of the Malcolm Baldrige National QualityAward causal model*. Decision Sciences, Vol. 31(2), pp. 361-390, 2000.
- [Yarlin 2006] Yarlin, K. *Optimal adaptive control policy for joint machine maintenance and product quality control*. European Journal of Operational Research, Vol 171(2), pp. 586-597, 2006.
- [Young 2006] Young, H. K. et T. A. Frank. *Benefits, obstacles, and future of six sigma approach*. Technovation, Vol 26(5-6), pp. 708-715, 2006.
- [Zachman 1987] Zachman, J. A. *A framework for information systems architecture*. IBM SYSTEMS JOURNAL, Vol 26(3), pp.276-292 , 1987.

[Zeghib 2004] Zeghib, N. E., R. Khelif, N. Kiass, K. Chaoui et L. Boulanouar. *La qualité dans les mesures, indicateurs et métrologie, Quality in measures, indicators and metrology*. Ine the proceeding of the QUALIMA01 – Tlemcen, 2004.

Annexes

Annexe A

Le diagramme de classe et le diagramme d'activités en UML.

Diagramme de classes

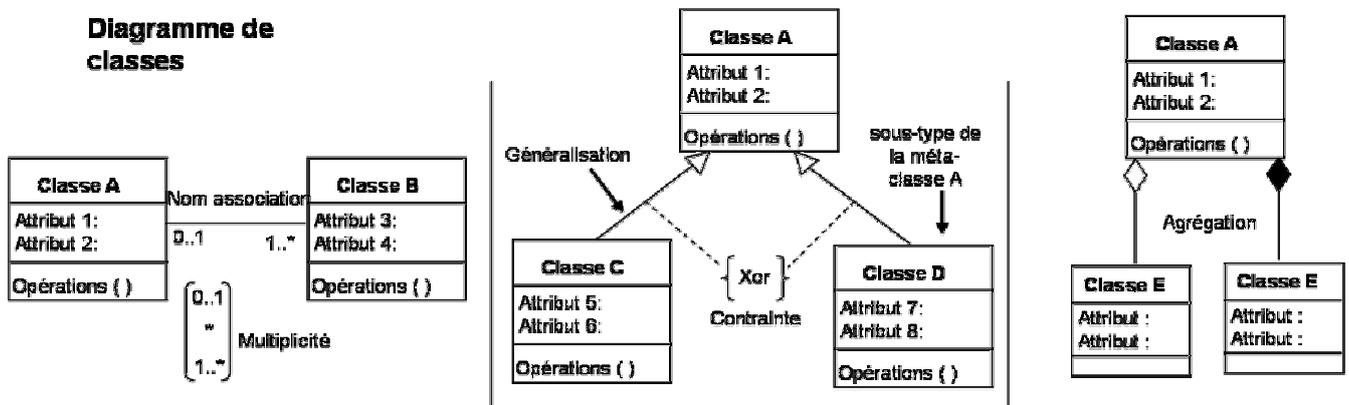
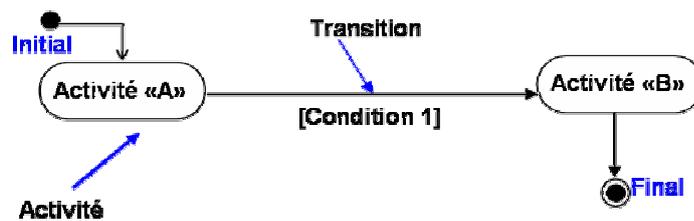
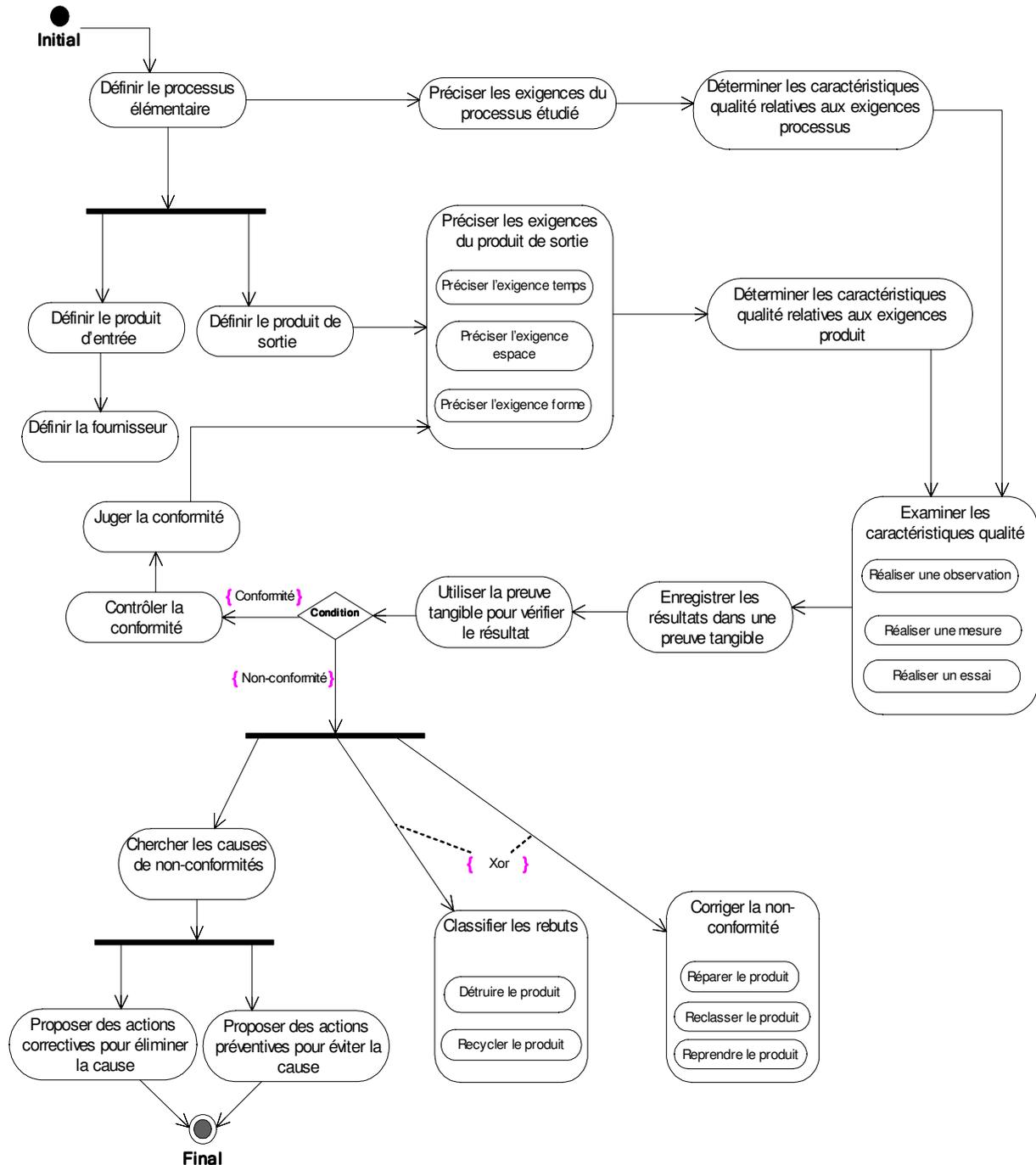


Diagramme d'activités



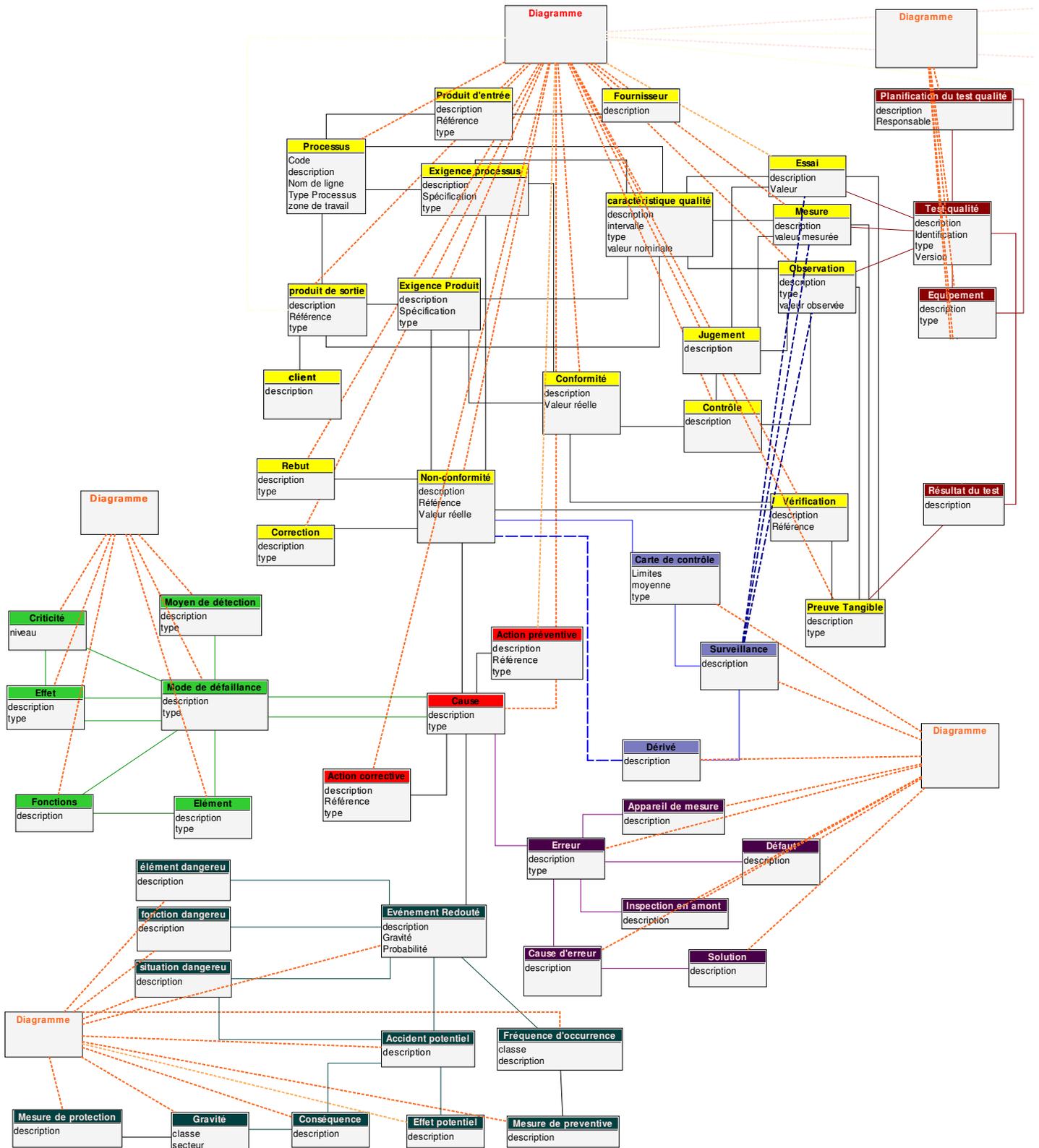
Annexe C

Une vue complète du méta-modèle des activités support du processus qualité au niveau tactique résultant de la méta-modélisation des concepts qualité extraits de la norme ISO9000:2000.



Annexe D

Une vue complète du méta-modèle global support de l'approche qualité implanté dans l'« environnement MEGA »



Annexe E

Exemple de développement de la "description" qualité dans MEGA : Description racine d'un processus

Il s'agit en réalité de la "description" « racine ». Elle permet de définir ce qu'est un processus.

On peut voir qu'un processus est défini par différents attributs qui lui sont propres : un nom, un code, une description, un nom de ligne ainsi qu'une zone de travail. La syntaxe d'un attribut est la suivante :

```
<nom_de_l_attribut>contenu informationnel</ nom_de_l_attribut >
```

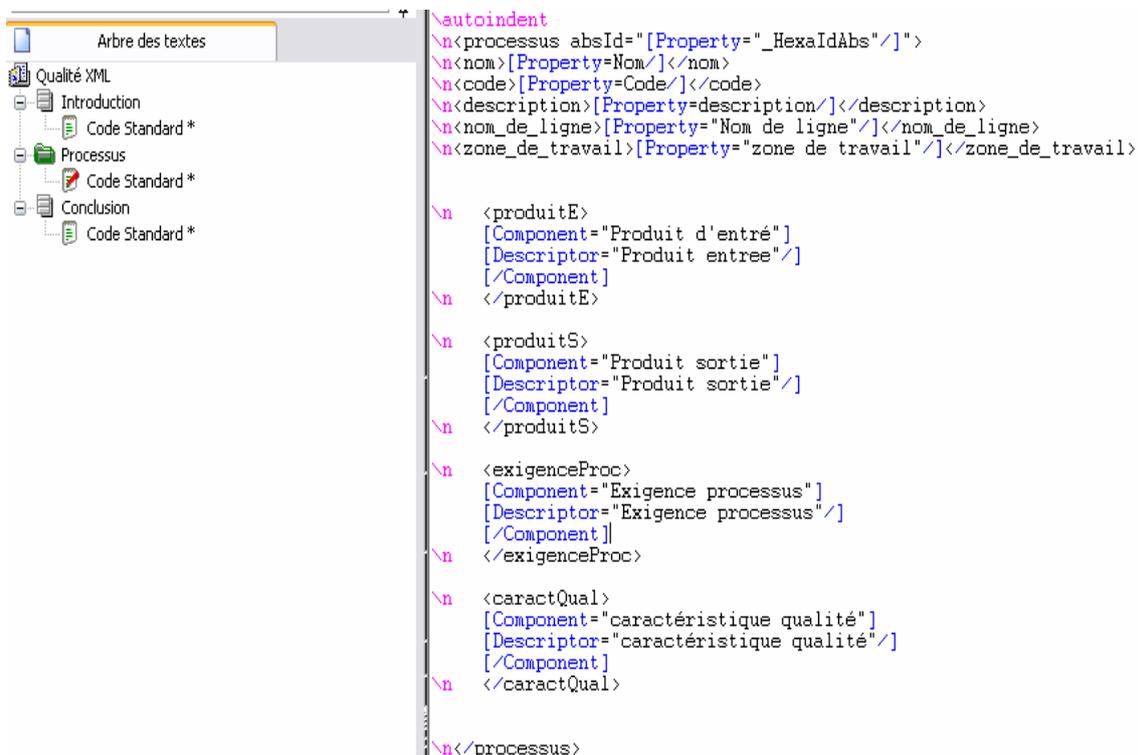
Il est aussi défini par d'autres objets : un produit d'entrée, un produit de sortie, une exigence processus et une caractéristique qualité. La syntaxe d'un objet est la suivante :

```
<nom_de_l_objet>
```

```
[Component= "nom de l'objet dans la base de données MEGA"]
```

```
[Descriptor= "nom de la description de l'objet "]/
```

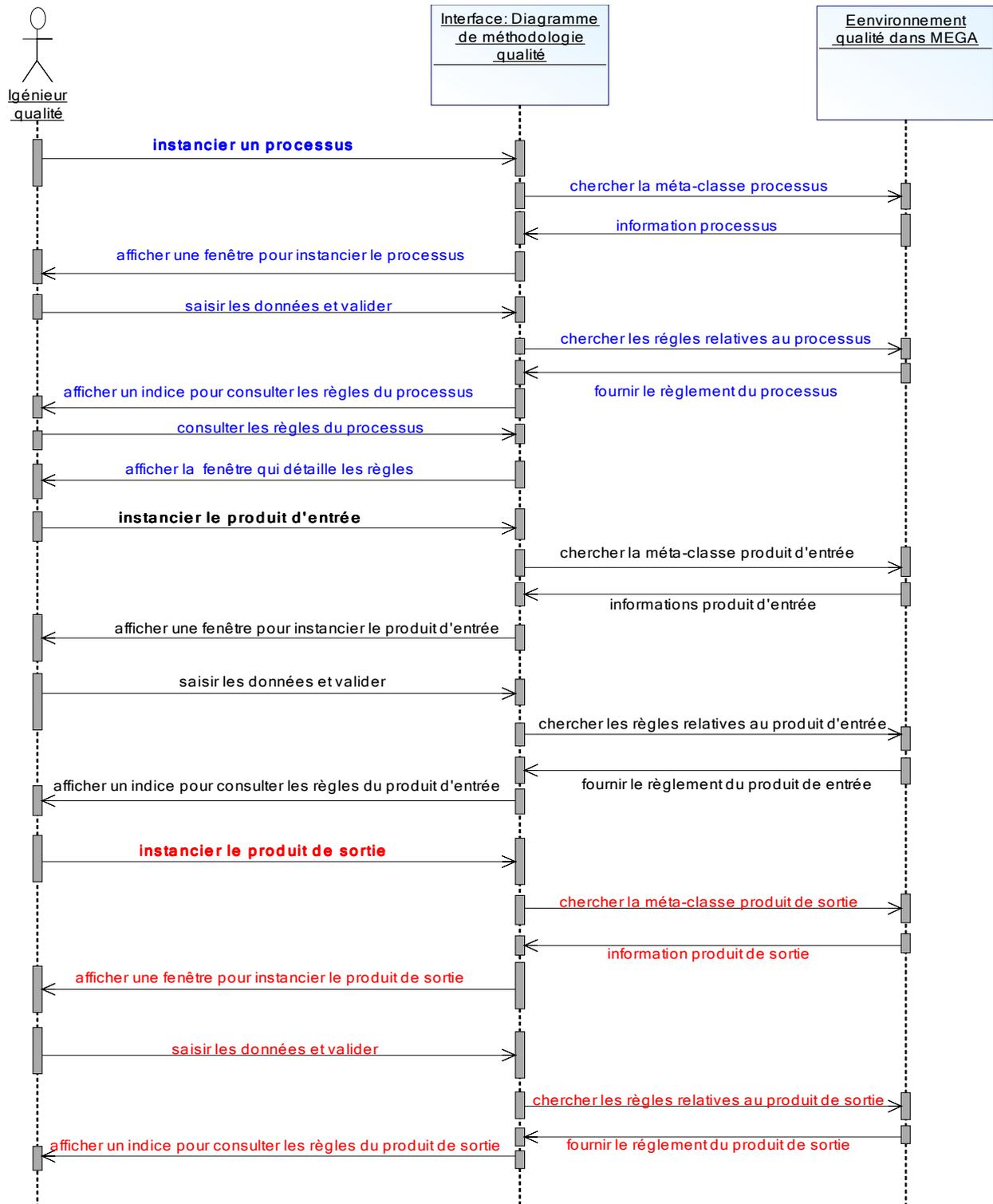
```
</nom_de_l_objet>
```



```
\n<autoindent \n<processus absId="[Property='_HexaIdAbs']"> \n<nom>[Property=Nom]/</nom> \n<code>[Property=Code]/</code> \n<description>[Property=description]/</description> \n<nom_de_ligne>[Property='Nom de ligne']</nom_de_ligne> \n<zone_de_travail>[Property='zone de travail']</zone_de_travail> \n \n <produitE> [Component='Produit d'entrée'] [Descriptor='Produit entree'] [/Component] [/produitE] \n \n <produitS> [Component='Produit sortie'] [Descriptor='Produit sortie'] [/Component] [/produitS] \n \n <exigenceProc> [Component='Exigence processus'] [Descriptor='Exigence processus'] [/Component] [/exigenceProc] \n \n <caractQual> [Component='caractéristique qualité'] [Descriptor='caractéristique qualité'] [/Component] [/caractQual] \n \n</processus>
```

Annexe F

Diagramme de séquence qui explique la façon d'utiliser le diagramme de méthodologie qualité, dans l'« environnement qualité », pour réaliser cette étape d'instanciation.



Annexe G

Création de la balise relative à la méta-classe « Accident potentiel » dans l'application JAVA

La classe XMLReader, comme son nom l'indique, nous permet en réalité d'analyser un fichier de type XML et d'en extraire les informations. Mais avant de lire le fichier xml, il nous a fallu créer les diverses classes qui définissaient les éléments décrits dans le xml tels qu'à chaque balise xml corresponde une classe.

La balise suivante montre un exemple de classe, plus particulièrement celui de la classe « Accident potentiel ». On voit que chaque classe a pour attribut, des attributs propres en général de type String ou Integer ainsi que des attributs de type Vector caractérisant les objets qui lui sont associés.

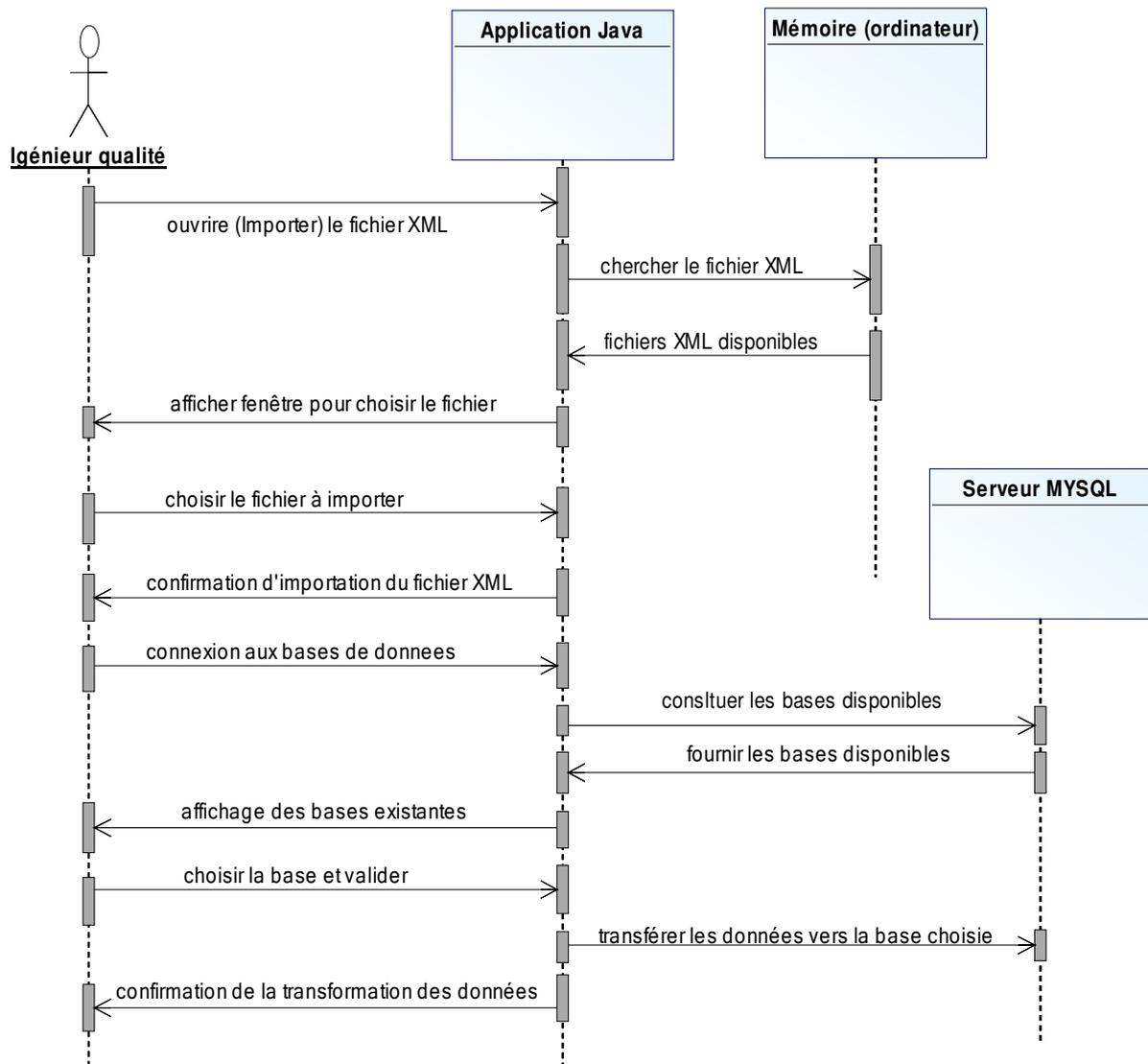
```
package pidr;

import java.util.Vector;

public class Accident_potentiel {
    private String nom;
    private String description;
    private Vector consequence;
    public Accident_potentiel() {
        consequence=new Vector();
    }
    public Vector getConsequence() {
        return consequence;
    }
    public void setConsequence(Consequence consequence) {
        this.consequence.add(consequence);
    }
    public String getDescription() {
        return description;
    }
    public void setDescription(String description) {
        this.description = description;
    }
    public String getNom() {
        return nom;
    }
    public void setNom(String nom) {
        this.nom = nom;
    }
}
```

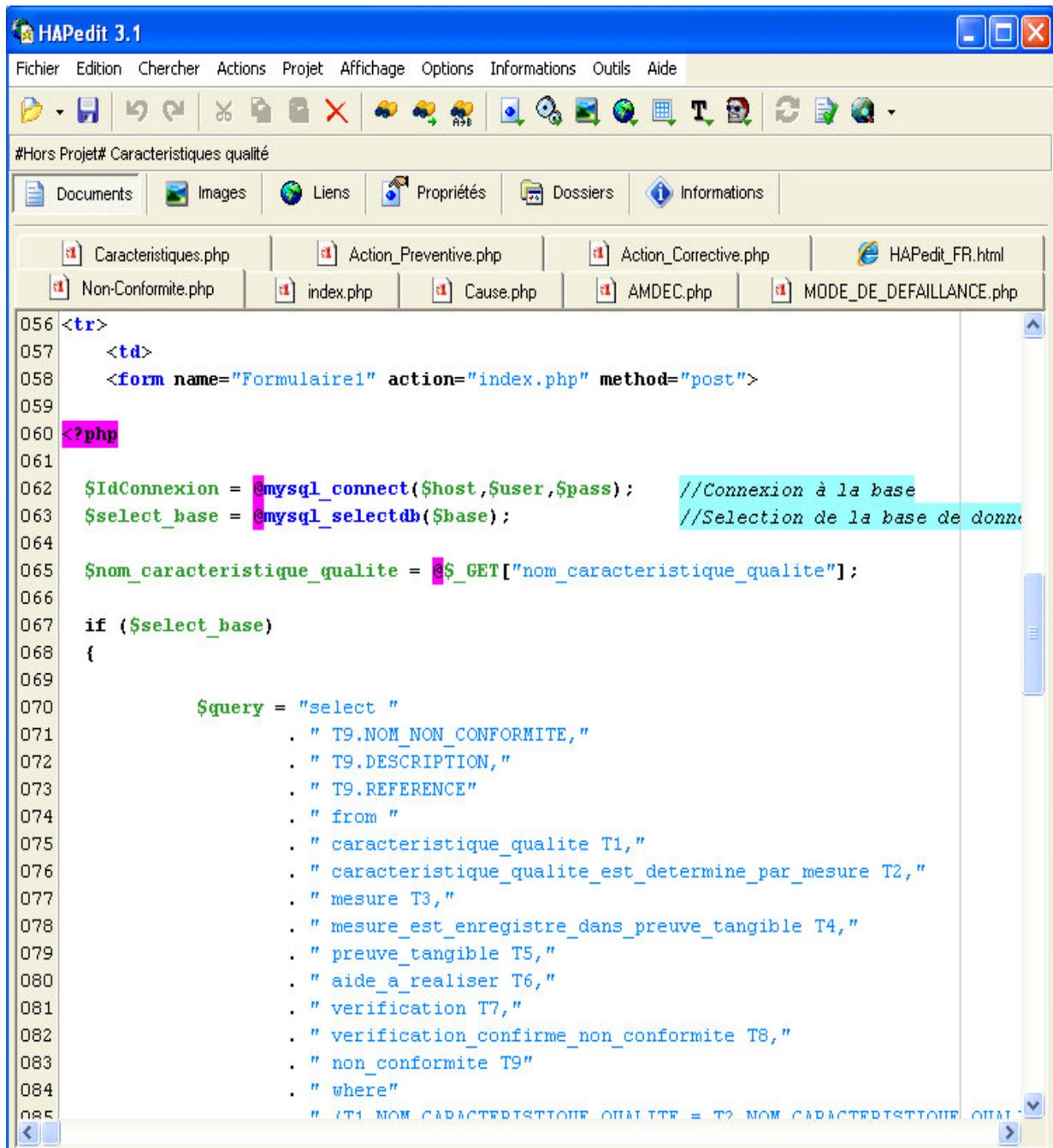
Annexe H

Un diagramme de séquence qui explique l'utilisation de cette interface de JAVA.



Annexe I

Partie du script PHP utilisé pour développer les pages Web. Script relatif à la non-conformité.

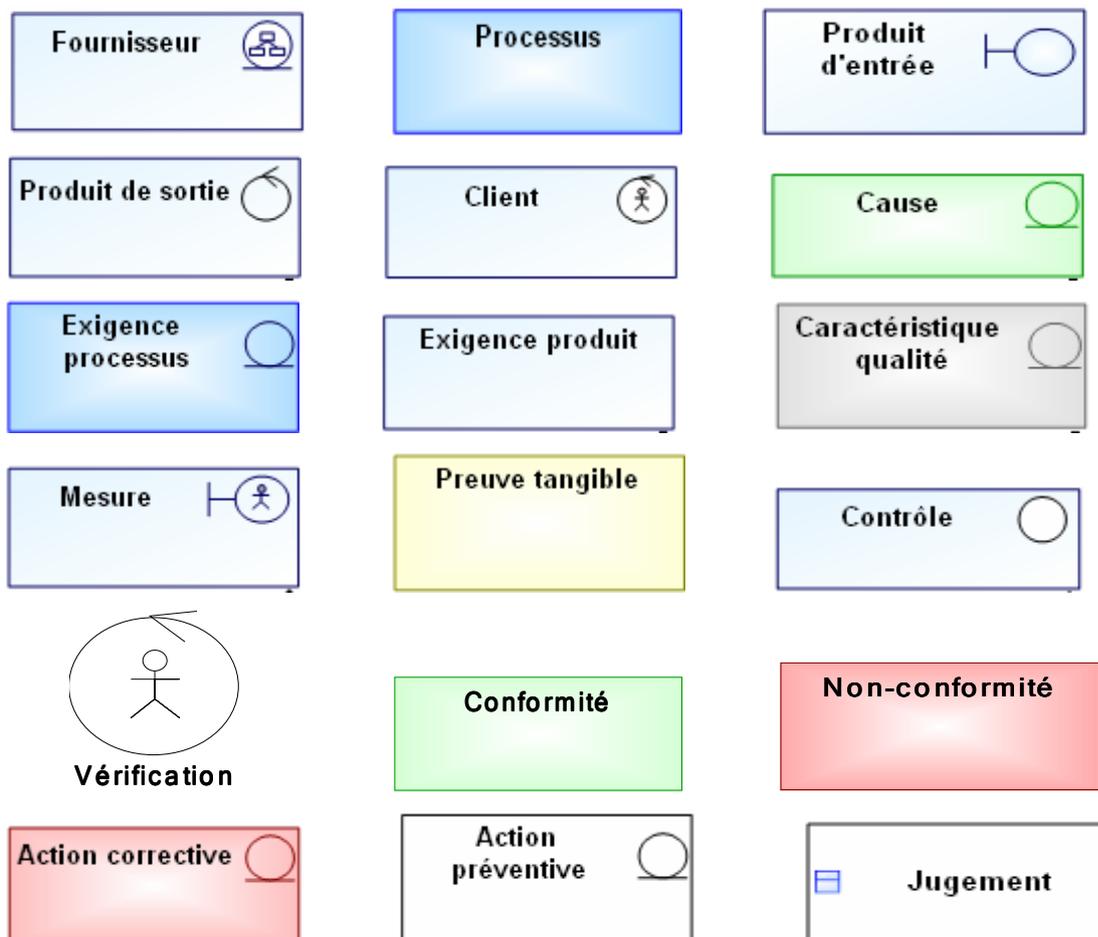


```
056 <tr>
057   <td>
058     <form name="Formulaire1" action="index.php" method="post">
059
060 <?php
061
062 $IdConnexion = @mysql_connect($host,$user,$pass); //Connexion à la base
063 $select_base = @mysql_selectdb($base); //Selection de la base de donne
064
065 $nom_caracteristique_qualite = @$_GET["nom_caracteristique_qualite"];
066
067 if ($select_base)
068 {
069
070     $query = "select "
071             . " T9.NOM_NON_CONFORMITE,"
072             . " T9.DESCRPTION,"
073             . " T9.REFERENCE"
074             . " from "
075             . " caracteristique_qualite T1,"
076             . " caracteristique_qualite_est_determine_par_mesure T2,"
077             . " mesure T3,"
078             . " mesure_est_enregistre_dans_preuve_tangible T4,"
079             . " preuve_tangible T5,"
080             . " aide_a_realiser T6,"
081             . " verification T7,"
082             . " verification_confirme_non_conformite T8,"
083             . " non_conformite T9"
084             . " where"
085             . " (T1.NOM_CARACTERISTIQUE_QUALITE = T2.NOM_CARACTERISTIQUE_QUALITE
```

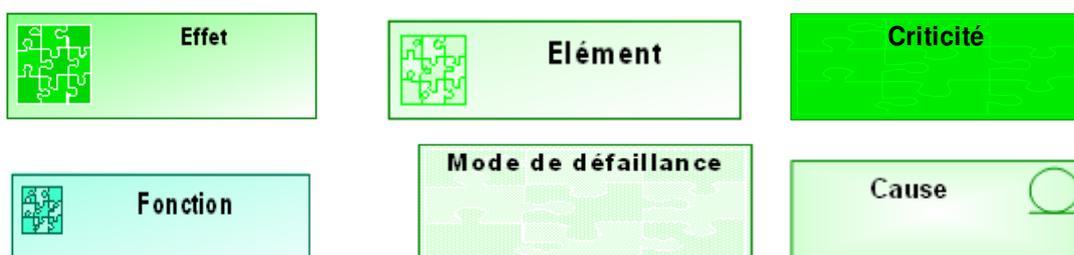
Annexe J

Légende des différents concepts apparaissant dans le diagramme de méthodologie qualité et le diagramme de la méthode AMDEC

Dans le diagramme de méthodologie qualité :



Dans le diagramme de la méthode AMDEC :



TITRE : Contribution méthodologique à la maîtrise conjointe de la qualité d'un produit et de ses processus de production par une modélisation des concepts qualité

Résumé : La qualité est devenue aujourd'hui un véritable outil stratégique, pour faire face aux nouveaux enjeux économiques et sociaux de l'entreprise, grâce à son impact sur la maîtrise conjointe de la qualité du produit et des processus supports à sa production. Cette maîtrise est directement liée à l'organisation cohérente d'un ensemble d'activités qualité qui se positionnent sur les différents niveaux structurels de l'entreprise.

Un des challenges majeurs est donc de faire du processus qualité un processus au sens système, c'est-à-dire un processus intégrant, de façon efficace, les différentes activités qualité sur les différents niveaux et avec les autres processus de l'entreprise. Relativement à ce challenge, plusieurs méthodologies et méthodes qualité supportent tout ou partie de la modélisation du processus qualité, mais leur manque de formalisation nuit à l'efficacité et à l'efficience de leur application. En réponse à ce double constat d'intégration et de manque de formalisation, notre contribution porte sur la proposition d'une approche qualité générique permettant de formaliser un processus qualité au niveau tactique en lien avec les autres niveaux de l'entreprise. Cette approche se positionne en cohérence avec le TQM dans l'objectif de maîtriser et d'améliorer conjointement la qualité du produit/processus de production. Elle se veut utilisable, par son automatisation avec l'outil MEGA, de la conception à l'exploitation du processus de maîtrise de la qualité.

L'originalité de ces travaux réside dans une première unification, sous la forme de méta-modèles, des concepts qualité sur la base de l'approche processus défini dans la norme ISO9000:2000, de la fonction «management de qualité» telle que prônée par la norme IEC/ISO62264, des méthodes qualité, et finalement de la modélisation d'indicateurs pertinents. La faisabilité de cette approche est montrée sur un cas d'application de type processus manufacturier.

Mots Clés : Processus Qualité, ISO9000:2000, Méta-modélisation, Maîtrise de la qualité, Amélioration de la qualité, Méthodes qualité, TQM.

TITLE: A methodology to jointly control the product quality and its production processes by quality concepts modelling

Abstract: In today's world of globalization, *quality* becomes a strategic tool to face the new economic and social stakes of the enterprise by its impact on jointly controlling the quality of the product and the processes supporting its production as well. This control is directly related to the coherent organization of the quality activities which are structured on the different enterprise levels.

One of the major challenges is to set up the quality process as a process according to the "system" definition; i.e. a process which effectively integrates the quality activities on the different enterprise levels as well as with other processes belonging to the enterprise. Coping to this challenge, several methodologies and methods were proposed to support the whole or a part of modelling the process quality. However, the lack of formalization harms the effectiveness and the efficiency of their application. Regarding this double report on integration and lack of formalization, our contribution consists in developing a generic quality approach for formalising a process quality at the tactical level linked to the other enterprise levels. This approach is in accordance with the TQM to control and improve jointly the quality of the product and the production process. Since we propose and automated approach, it can be deployed from the design phase to the exploitation phase of the process quality control.

The originality of this work consists on the unification, in the form of meta-models, of the quality concepts on the basis of: the process approach defined in the standard ISO9000:2000, the function "quality management" as defined by the standard IEC/ISO62264, the quality methods, and finally on the modelling of relevant indicators. The feasibility of this approach is shown by an application case of a manufacturing process.

Keywords: Quality process, ISO9000:2000, Meta-modelling, Quality control, quality Improvement, Quality methods, TQM.