



**HAL**  
open science

# Contribution de la modélisation informationnelle aux Processus de Conception et Réalisation de Produits Manufacturiers : vers une Ontologie Métier

Muriel Lombard

► **To cite this version:**

Muriel Lombard. Contribution de la modélisation informationnelle aux Processus de Conception et Réalisation de Produits Manufacturiers : vers une Ontologie Métier. Automatique / Robotique. Université Henri Poincaré - Nancy I, 2006. tel-00121431

**HAL Id: tel-00121431**

**<https://theses.hal.science/tel-00121431v1>**

Submitted on 20 Dec 2006

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

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



---

FACULTE DES SCIENCES & TECHNIQUES

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

## Habilitation à Diriger des Recherches

présentée par

**Muriel LOMBARD**

***Contribution de la Modélisation Informationnelle aux Processus  
de Conception et Réalisation de Produits Manufacturiers :  
vers une Ontologie Métier***

Soutenue le 09 Octobre 2006 devant le jury composé de :

Rapporteurs :	M. Jean-Pierre BOUREY	Professeur, Ecole Centrale de Lille
	M. Daniel BRISSAUD	Professeur, Institut National Polytechnique de Grenoble
	M. Jean-Jacques LESAGE	Professeur, Ecole Normale Supérieure de Cachan
Examineurs :	M. Georges FADEL	Professeur, Université de Clemson (USA)
	M. Pascal LHOSTE	Professeur, ENSGSI-Institut National Polytechnique de Lorraine
	M. Philippe GIRARD	Professeur, Université Bordeaux I
	M. Gabriel RIS	Professeur, ESIAL-Université Henri Poincaré Nancy I Directeur de Recherche



*« Toute connaissance acquise sur la connaissance devient un moyen de connaissance éclairant la connaissance qui a permis de l'acquérir. »*

Edgard MORIN

La Connaissance de la Connaissance, Tome III, Paris  
Edition du Seuil, 1986

*A mes enfants, générateurs et intégrateurs de repères*



---

## Remerciements

Le travail de recherche présenté dans ce mémoire a été réalisé au Centre de Recherche en Automatique de Nancy (CRAN- UMR 7039) au sein de l'équipe-projet « Numérisation, Conception Collaborative Produit-Processus » (**NumCOP<sup>2</sup>**).

Avant toute chose, je tiens à exprimer mes remerciements à toutes les personnes qui ont permis la réalisation et la soutenance de ce travail. En effet, si une Habilitation personnalise le fruit de recherches passées et de perspectives de travaux futurs, elle ne peut être mise en œuvre sans un certain contexte, ni mise en valeur sans un jugement de spécialistes de l'environnement de celui-ci.

Je suis particulièrement reconnaissante à :

- **Monsieur le Professeur Jean-Pierre BOUREY** de l'Ecole Centrale de Lille,
- **Monsieur le Professeur Daniel BRISSAUD** de l'Institut National Polytechnique de Grenoble,
- **Monsieur le Professeur Jean-Jacques LESAGE** de l'Ecole Normale Supérieure de Cachan,

pour avoir accepté d'évaluer mon travail en qualité de rapporteurs.

Je remercie également :

- **Monsieur le Professeur Georges FADEL** de l'Université de Clemson (USA)
- **Monsieur le Professeur Philippe GIRARD** de l'Université de Bordeaux I

d'avoir accepté de participer à ce jury en tant qu'examineurs.

Que :

- **Monsieur le Professeur Pascal LHOSTE** de l'Ecole Nationale Supérieure en Génie des Systèmes Industriels, Institut National Polytechnique de Lorraine

soit assuré de ma gratitude pour la reconnaissance qu'il me témoigne en participant à ce jury et pour m'avoir fait bénéficier de ses convictions lors de nos échanges autour de la modélisation de connaissances métier en NIAM/ORM.

Je suis reconnaissante à tous mes responsables d'équipe (1994-2006) :

- Monsieur le Professeur Patrick MARTIN de l'Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers,
- Monsieur le Professeur Alain BERNARD de l'Ecole Centrale de Nantes,

pour m'avoir offert l'opportunité de construire ma recherche, et plus particulièrement à :

- **Monsieur le Professeur Gabriel RIS** de l'Ecole Supérieure d'Informatique et d'Applications de Lorraine, Université Henri Poincaré Nancy I

pour m'avoir confié l'animation de l'axe 1 de notre équipe-projet.



---

## Avant-propos

Ce document décrit l'ensemble de mes activités universitaires réalisées au Centre de Recherche en Automatique de Nancy (CRAN-UMR 7039).

Il est basé sur un **Curriculum Vitae** qui présente la valorisation des résultats scientifiques obtenus ainsi que les actions menées en transfert et en enseignement.

Il s'articule ensuite autour de deux parties :

- **Intégration des métiers en conception** qui présente les résultats des travaux passés autour de la modélisation informationnelle en conception et réalisation de produits manufacturiers,

et

- **Bilan et perspectives de recherche** qui présentent une synthèse des résultats de mes activités de recherche à l'aide d'une modélisation formelle en NIAM/ORM. Sur la base de cette formalisation, j'é mets quelques propositions me permettant de contribuer à l'élaboration d'une ontologie métier et je présente les voies de recherche que je souhaite explorer concourant à la définition d'un cadre méthodologique de modélisation informationnelle pour la conception et réalisation de produits manufacturiers





---

## Table des Matières

<b>1. CURRICULUM VITAE ET NOTICE D'ACTIVITÉS</b> .....	<b>5</b>
1.1 CURRICULUM VITAE GENERAL .....	6
1.1.1 <i>Etat civil</i> .....	6
1.1.2 <i>Coordonnées professionnelles</i> .....	6
1.1.3 <i>Situation actuelle</i> .....	6
1.1.4 <i>Diplômes, titres et qualifications</i> .....	7
1.2 ACTIVITES LIEES A LA RECHERCHE .....	8
1.2.1 <i>Problématique scientifique</i> .....	8
1.2.2 <i>Bilan de mon activité de recherche</i> .....	12
1.2.3 <i>Articles dans des revues</i> .....	13
1.2.4 <i>Ouvrages de synthèse</i> .....	14
1.2.5 <i>Communications dans des colloques avec actes et comité de lecture</i> .....	15
1.2.5.1 <i>Communications internationales</i> .....	15
1.2.5.2 <i>Communications nationales</i> .....	17
1.2.6 <i>Communications sans acte avec ou sans comité de lecture, de groupes de recherche nationaux ou internationaux</i> .....	18
1.2.7 <i>Rapports de contrats de recherche</i> .....	19
1.2.8 <i>Projets de recherche nationaux</i> .....	21
1.2.9 <i>Groupes de travail</i> .....	24
1.2.10 <i>Participation à des jurys de thèse</i> .....	26
1.2.11 <i>Prix</i> .....	26
1.2.12 <i>Conférence invitée dans des colloques avec comité de lecture et actes</i> .....	27
1.2.13 <i>Membre de comités scientifiques de revues ou ouvrages</i> .....	27
1.2.14 <i>Critique scientifique pour publications</i> .....	27
1.2.15 <i>Membre de comités scientifiques de colloques internationaux</i> .....	28
1.2.16 <i>Membre de comités scientifiques de colloques nationaux</i> .....	28
1.2.17 <i>Organisation de sessions dans colloques internationaux</i> .....	29
1.2.18 <i>Présidence de sessions dans colloques internationaux</i> .....	29
1.2.19 <i>Présidence de sessions dans colloques nationaux</i> .....	30
1.2.20 <i>Organisation de colloques internationaux</i> .....	31
1.2.21 <i>Organisation de colloques nationaux</i> .....	31
1.2.22 <i>Transfert de connaissances scientifiques</i> .....	32
1.3 ENCADREMENT DE RECHERCHE .....	34
1.3.1 <i>Thèses soutenues</i> .....	34
1.3.2 <i>Thèse en cours</i> .....	37
1.3.3 <i>DEA Production Automatisée</i> .....	37
1.3.4 <i>Mémoire d'ingénieur CNAM</i> .....	38
1.3.5 <i>Stage étudiants étrangers</i> .....	38
1.4 RESPONSABILITES COLLECTIVES ET PEDAGOGIQUES .....	39
1.4.1 <i>Activité administrative</i> .....	39
1.4.2 <i>Conseils et jurys</i> .....	39
1.5 ACTIVITES PEDAGOGIQUES .....	40
1.5.1 <i>Enseignements à l'IUT Nancy-Brabois, département Génie Mécanique et Productive depuis le 1<sup>er</sup> septembre 1994</i> .....	40
1.5.1.1 <i>Descriptif des enseignements</i> .....	40
1.5.1.2 <i>Descriptif de travaux pratiques en automatismes séquentiels</i> .....	41
1.5.2 <i>Vacations principales</i> .....	42
1.5.3 <i>Perspectives d'enseignement</i> .....	44
1.5.4 <i>Formations diverses, universités d'automne (à destination de chercheurs et industriels), universités d'été (à destination des enseignants du supérieur, formateurs, inspecteurs académique)</i> .....	44
<b>2. INTEGRATION DES METIERS EN CONCEPTION</b> .....	<b>45</b>
2.1 INTRODUCTION – POSITIONNEMENT DES TRAVAUX .....	48
2.1.1 <i>Activité de conception</i> .....	48

2.1.1.1	Processus de conception .....	48
2.1.1.2	Objets manipulés .....	50
2.1.2	<i>Projet D.M.M.S. (Design Management and Manufacturing System)</i> .....	50
2.1.2.1	Architecture d'ingénierie concourante .....	51
2.1.2.2	Modélisation du processus D.M.M.S. ....	51
2.1.2.3	Implémentation du référentiel D.M.M.S. ....	53
2.1.2.4	Conclusion du projet D.M.M.S. ....	56
2.1.3	<i>Synthèse – Problématique de recherche en ingénierie collaborative</i> .....	57
2.2	INTEGRATION AUTOUR DU PRODUIT .....	58
2.2.1	<i>Gérer l'information, un enjeu majeur pour les entreprises</i> .....	58
2.2.1.1	Problématique d'intégration .....	58
2.2.1.2	Modélisation de produit .....	59
2.2.1.3	Modélisation de données produit : la technologie STEP .....	61
2.2.2	<i>Démarche orientée connaissances</i> .....	62
2.2.2.1	La démarche de génération de gammes d'usinage : un exercice complexe .....	63
2.2.2.2	Les connaissances contextuelles en génération de gammes d'usinage [Derras, 1998] ....	64
2.2.2.3	Démarche de formalisation proposée .....	66
2.2.2.4	Modèle informationnel .....	66
2.2.2.5	Modèle décisionnel : un modèle de règles à possibilités .....	68
2.2.2.6	Modèle de logique temporelle valué .....	71
2.2.2.7	Prototype FUKAPP : bilan .....	73
2.2.3	<i>Démarche orientée données multi-points de vue</i> .....	76
2.2.3.1	Données techniques .....	77
2.2.3.2	Notion de points de vue, élément de base du cycle de vie du produit .....	78
2.2.3.3	Premiers éléments de réponse .....	80
2.2.3.4	La méthode V.I.M. (Viewpoints Information Modelling) [Million, 1998] .....	82
2.2.3.5	V.I.M. : bilan .....	92
2.2.4	<i>Démarche orientée relations (traitements) entre données multi-points de vue</i> .....	95
2.2.4.1	Présentation des acteurs « logiciels » et ajustement du modèle initial .....	96
2.2.4.2	Présentation du modèle final .....	105
2.2.4.3	Bilan .....	106
2.3	INTEGRATION AUTOUR DU PROCESSUS .....	107
2.3.1	<i>Gérer les processus, un enjeu majeur pour les entreprises</i> .....	107
2.3.1.1	Modélisation du processus d'ingénierie .....	107
2.3.1.2	Etude du processus de conception ... un processus communicant .....	108
2.3.2	<i>Démarche orientée collaboration ... une source de conflit CO<sup>2</sup>MED)</i> .....	109
2.3.2.1	Outils support à la gestion de connaissances en conception mécanique .....	111
2.3.2.2	Proposition d'un référentiel support au processus collaboratif en conception .....	112
2.3.2.3	Validation du référentiel .....	116
2.3.2.4	Projet IPPOP .....	117
<b>3.</b>	<b>BILAN ET PERSPECTIVES DE RECHERCHE</b> .....	<b>121</b>
3.1	PREAMBULE .....	122
3.2	MISE EN EVIDENCE D'OBJETS DE CONNAISSANCE CONTRIBUANT A UNE ONTOLOGIE METIER .....	123
3.2.1	<i>Contribution de l'intégration à la définition d'une ontologie métier CFAO</i> .....	124
3.2.2	<i>Contribution du travail collaboratif à la définition d'une ontologie métier CFAO</i> .....	127
3.3	SYNTHESE ET PERSPECTIVES .....	131
3.3.1	<i>Structure génétique simplifiée d'objet de connaissance</i> .....	131
3.3.2	<i>Typage sémantique des relations entre objets de connaissance</i> .....	132
3.3.2.1	Relation $\lambda$ .....	134
3.3.2.2	Relation $\chi$ .....	135
3.3.2.3	Relation $\mu$ .....	136
3.3.2.4	Relation $\delta/\epsilon$ .....	137
3.3.2.5	Synthèse autour d'un exemple .....	139
3.3.3	<i>Vers un méga-modèle ontologique des métiers de la conception et réalisation de produits manufacturiers</i> .....	141
3.3.3.1	Vers une intégration forte : le mécanisme de « substitution » sur le modèle de référence de liaison .....	141
3.3.3.2	Vers un méga-modèle d'étude .....	143
3.3.4	<i>Synthèse des perspectives : Vers une ontologie métier</i> .....	144
<b>4.</b>	<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b> .....	<b>147</b>

## Table des Figures

Figure 1 : Représentation informelle de l'organisation thématique de mes travaux de recherche et de leur développement	11
Figure 2 : Salle de TP	42
Figure 3 : Manipulation de l'ascenseur	42
Figure 4 : Représentation informelle de l'organisation thématique des travaux de recherche et de leur développement	47
Figure 5 : De l'ingénierie séquentielle à l'ingénierie concurrente ... en collaborant inspiré de [Sohlenius, 1992]	48
Figure 6 : Architecture D.M.M.S. [Lombard, 1994]	51
Figure 7 : Définition des flux sur le couple opérant/pilote	52
Figure 8 : Etapes successives d'une modélisation systémique	53
Figure 9 : Principe d'organisation des activités dans un espace Forme/Espace/Temps	53
Figure 10 : Architecture D.M.M.S. réduite pour son implémentation	54
Figure 11 : Gestion des outils modulaires SANDVIK pour centre d'usinage	56
Figure 12 : Méta-modèle [Harani, 1997]	61
Figure 13 : Extrait de la vue informelle autour de la démarche orientée connaissances	62
Figure 14 : Démarche de génération de gammes d'usinage	63
Figure 15 : Pièce exemple [Tsang, 1990]	65
Figure 16 : Définition des critères contextuels	65
Figure 17 : Démarche de formalisation pour la génération de processus d'usinage	66
Figure 18 : Partition floue des critères $\alpha$ , $\beta$ et $\theta$	67
Figure 19 : Modèle des conclusions des règles contextuelles relatives au domaine d'expertise traitant de l'usinage de deux alésages sécants.	68
Figure 20 : Processus de raisonnement (prémisse et inférence)	70
Figure 21 : Agrégation des conclusions partielles	70
Figure 22 : Exemple d'opérations d'ébauche et de finition constituant un processus d'usinage d'une Entité d'usinage	71
Figure 23 : Modèle informationnel partiel de la méthode de logique floue, implémentée dans le module FUCOM	74
Figure 24 : Architecture de FUKAPP	75
Figure 25 : Extrait de la vue informelle autour de la démarche orientée données	76
Figure 26 : Typologie d'objets techniques	77
Figure 27 : Différents aspects d'un artefact [Xue, 2004]	78
Figure 28 : Vues de Données [Mawussi, 1995]	78
Figure 29 : Vue et point de vue métier	79
Figure 30 : Vue et de point de vue informatique	79
Figure 31 : Exemple d'objet composite	81
Figure 32 : Exemple d'objet émergent	81
Figure 33 : Importation de type [Godart, 1992]	82
Figure 34 : Décomposition du réel dans ses représentations [Picavet, 1997]	83
Figure 35 : Description du processus de conception d'un modèle de données d'un objet technique dans un contexte multi-points de vue	84
Figure 36 : Méta-modèle du modèle de données Entité-Association de MEGA	85
Figure 37 : Sous-modèle du méta-modèle de données de MEGA	85
Figure 38 : Détermination des entités ponts	86
Figure 39 : Enrichissement du sous-modèle du méta-modèle du modèle de données de MEGA	88
Figure 40 : Méta-modèle final	88
Figure 41 : Intégration des concepts au niveau du méta-modèle du diagramme de classes	89
Figure 42 : Ensemble et sous-ensembles	89
Figure 43 : Intégration de la notion de Concept commun	90
Figure 44 : Modèle statique de la méthode V.I.M.	91
Figure 45 : Modèle global de mise en oeuvre de V.I.M.	92
Figure 46 : Fragment du méta-modèle associé au profil VUML	93
Figure 47 : Lien sémantique entre conception et préparation de gamme d'usinage	95
Figure 48 : Déploiement de la méthodologie V.I.M. sur l'architecture USIQUICK. Modèle initial	95
Figure 49 : Une face (élément topologique) et sa surface support	96
Figure 50 : Un exemple de structuration des données B-Rep	96
Figure 51 : Modèle ajusté au point de vue du concepteur	97
Figure 52 : Modèle ajusté au point de vue du préparateur	98
Figure 53 : Modification de la géométrie d'une zone masquée	99
Figure 54 : Condition d'existence de l'entité MASQUE	99
Figure 55 : Exemples de direction d'usinage simple	100

Figure 56 : Exemple de cône de directions d'usinage	100
Figure 57 : Taxinomie des types de UFace	101
Figure 58 : Forme convexe/concave	102
Figure 59 : Rayon de courbure minimum de la surface S	102
Figure 60 : Logigramme présentant la succession des étapes dans le processus de transformation	103
Figure 61 : Modèle ajusté au point de vue du transformateur	104
Figure 62 : Qualification de l'arête	105
Figure 63 : Modèle final ajusté aux points de vue des acteurs	105
Figure 64 : Modèle du processus d'ingénierie	107
Figure 65 : Extrait de la vue informelle de la démarche autour du processus et orientée collaboration	110
Figure 66 : Connaissances collaboratives	110
Figure 67 : Boucle de résolution de conflit en conception collaborative	112
Figure 68 : Diagramme de classes UML de gestion de conflit issu de l'analyse précédente	114
Figure 69 : Déploiement vertical avec proposition de nouvelles solutions (IT1, IT2, IT3, ...)	115
Figure 70 : Déploiement horizontal à partir de l'itération 1 sans proposition de nouvelle solution	115
Figure 71: Protocole de résolution	116
Figure 72 : Modules logiciels du prototype	117
Figure 73 : Objectifs Produit, Processus, Organisation et interactions au sein du projet IPPOP	118
Figure 74 : Vue intégrée de l'environnement Procesus-Organisation autour du modèle de gestion de conflits	119
Figure 75 : Comment mettre en relation deux univers d'intérêt différents au moyen de deux objets d'étude propres à chacun d'eux ?	124
Figure 76 : Formalisation NIAM/ORM d'une génération de gammes d'usinage et son équivalence en langage naturel binaire	124
Figure 77 : Identification des objets d'étude à mettre en relation entre CAO et FAO	125
Figure 78 : De la transformation à l'intégration d'objets	126
Figure 79 : Emergence de l'objet « Modèle Produit CFAO » et de connaissances d'enrichissement	127
Figure 80 : Modèle de conception d'un produit complexe dans un univers donné et son équivalence en langage naturel binaire	128
Figure 81: Emergence d'un « acteur CFAO » et d'une relation avec « Modèle Produit CFAO »	129
Figure 82 : Définition des « hommes-interfaces » dans l'organisation du projet Twingo	130
Figure 83 : Modèle de référence génétique simplifié d'objets de connaissance d'après [Mayer, 1995]	131
Figure 84 : Un système et ses relations [Favre, 2004]	132
Figure 85 : Définition de méta-relations en modélisation conceptuelle	133
Figure 86 : Squelette de modèle de référence	133
Figure 87 : Modèle de référence génétique	134
Figure 88 : Exemple de relation $\lambda$	134
Figure 89 : Méta-Modèle de référence génétique	135
Figure 90 : Modèle de référence de Méta-définition	136
Figure 91 : Modélisation du produit en CAO	137
Figure 92: Modèle de référence de modélisation	137
Figure 93 : Décomposition de l'objet « Avion XYZ »	138
Figure 94 : Modèle de référence de décomposition	139
Figure 95 : Illustration des types de relation sur un exemple	140
Figure 96 : Mécanisme de substitution	141
Figure 97 : Mécanisme de substitution sur le modèle de référence de liaison	142
Figure 98 : Cadre conceptuel d'un méga-modèle ontologique des métiers	144
Figure 99 : Méthodologie autour d'un méga-modèle ontologique	146

---

Chapitre

**1**

**1. CURRICULUM VITAE ET NOTICE  
D'ACTIVITÉS**

---

## 1.1 CURRICULUM VITAE GENERAL

### 1.1.1 Etat civil

Nom patronymique : **LOMBARD**

Prénom : **Muriel**

Date et lieu de naissance : **23 avril 1966 à Nancy (54)**

Nationalité : **Française**

Situation familiale : **Divorcée, deux enfants (1997 – 2000)**

### 1.1.2 Coordonnées professionnelles

<b>CRAN</b> Centre de Recherche en Automatique de Nancy	Tél. +33 (0)3 83 68 44 33
<b>CNRS – UMR 7039</b>	Fax. +33 (0)3 83 68 44 37
Faculté des Sciences et Techniques - B.P. 239 54 506 – Vandoeuvre-lès-Nancy Cedex	Email : <a href="mailto:muriel.lombard@cran.uhp-nancy.fr">muriel.lombard@cran.uhp-nancy.fr</a>

### 1.1.3 Situation actuelle

- **Maître de Conférences** à l'I.U.T. B NANCY-BRABOIS, département Génie Mécanique et Productique, Université Henri Poincaré, Nancy I, 61<sup>ème</sup> Section du C.N.U. :
  1. Nomination le 01/09/1994, emploi n°0956 (arrêté en date du 03/02/1994),
  2. Titularisation le 01/09/1995
  3. Avancement au choix par arrêté n°01140 du 17/08/99 au 1<sup>er</sup> échelon des Maîtres de Conférences 1<sup>ère</sup> classe
  4. Reclassement (arrêté collectif n°00356 en date du 03/07/2001) classe normale 4<sup>ème</sup> échelon depuis le 01/06/2001,
  5. Dernière promotion à l'ancienneté : 6<sup>ème</sup> échelon, depuis le 01/05/2005 (décret n°84-431 du 6 juin 1984).
- **Chercheur** au Centre de Recherche en Automatique de Nancy (**CRAN**), CNRS-UMR 7039, dirigé par le Professeur Alain RICHARD, Thème « **SY**stèmes de **P**roduction **A**mbiants » (**SYMPA**) dirigé par le Professeur Thierry DIVOUX et plus particulièrement dans l'équipe-projet « Numérisation, Conception Collaborative Produit-Processus » (**NumCOP<sup>2</sup>**)<sup>1</sup> animée par le Professeur Gabriel RIS. Cette équipe-projet est organisée autour de deux axes de recherche :
  1. Gestion intégrée des connaissances en conception collaborative de produit et de processus organisationnel (Responsable thématique : Muriel LOMBARD)

---

<sup>1</sup> [www.numcop2.com](http://www.numcop2.com)

2. Acquisition, numérisation et fabrication de pièces tridimensionnelles complexes  
(Responsable thématique : Gabriel RIS)

- **Prime d'Encadrement Doctoral et de Recherche (PEDR)**, date d'effet au 01/10/2005 pour une durée de 4 ans (Décret n°90-51 du 12 janvier 1990 modifié par les décrets n°2002-737 du 2 mai 2002 et n°2005-454 du 4 mai 2005).

#### 1.1.4 Diplômes, titres et qualifications

<b>1994</b>	<p><b>Qualification aux fonctions de Maîtres de Conférences section CNU 61</b></p> <hr/> <p><b>Doctorat de l'Université Henri Poincaré - Nancy I</b> Mention Très Honorable avec Félicitations du jury</p> <p>Spécialité : Production Automatisée</p> <p>Date de Soutenance : 16 Février 1994</p> <p>Lieu de soutenance : Faculté des Sciences et Techniques – Nancy I</p> <p>Titre : <b><i>Contribution au Génie Productique : Prototypage d'une architecture d'Ingénierie Concourante des Systèmes Intégrés de Fabrication Manufacturière</i></b></p> <p><u>Composition du jury :</u></p> <table> <tr> <td>Président :</td> <td>M. VERON</td> <td>Professeur à l'Université Henri Poincaré, Nancy I</td> </tr> <tr> <td>Rapporteurs :</td> <td>P. CHEDMAIL</td> <td>Professeur à l'Ecole Centrale de Nantes</td> </tr> <tr> <td></td> <td>R. SOENEN</td> <td>Professeur à l'Université de Valenciennes et du Hainaut Cambresis</td> </tr> <tr> <td>Examineurs :</td> <td>C. GODART</td> <td>Professeur à l'Université Henri Poincaré, Nancy</td> </tr> <tr> <td></td> <td>G. MOREL</td> <td>Professeur à l'Université Henri Poincaré, Nancy I</td> </tr> <tr> <td></td> <td>G. PIERRA</td> <td>Professeur à l'ENSMA – Directeur du LISI</td> </tr> <tr> <td></td> <td>H. TRAN</td> <td>Chef de Projet Stratégie et Coordination en Informatique. Département Innovation Société CLEMESSEY - Mulhouse</td> </tr> </table>	Président :	M. VERON	Professeur à l'Université Henri Poincaré, Nancy I	Rapporteurs :	P. CHEDMAIL	Professeur à l'Ecole Centrale de Nantes		R. SOENEN	Professeur à l'Université de Valenciennes et du Hainaut Cambresis	Examineurs :	C. GODART	Professeur à l'Université Henri Poincaré, Nancy		G. MOREL	Professeur à l'Université Henri Poincaré, Nancy I		G. PIERRA	Professeur à l'ENSMA – Directeur du LISI		H. TRAN	Chef de Projet Stratégie et Coordination en Informatique. Département Innovation Société CLEMESSEY - Mulhouse
Président :	M. VERON	Professeur à l'Université Henri Poincaré, Nancy I																				
Rapporteurs :	P. CHEDMAIL	Professeur à l'Ecole Centrale de Nantes																				
	R. SOENEN	Professeur à l'Université de Valenciennes et du Hainaut Cambresis																				
Examineurs :	C. GODART	Professeur à l'Université Henri Poincaré, Nancy																				
	G. MOREL	Professeur à l'Université Henri Poincaré, Nancy I																				
	G. PIERRA	Professeur à l'ENSMA – Directeur du LISI																				
	H. TRAN	Chef de Projet Stratégie et Coordination en Informatique. Département Innovation Société CLEMESSEY - Mulhouse																				
<b>1990</b>	<p><b>Diplôme d'Etudes Approfondies (DEA)</b></p> <p>Spécialité : Production Automatisée</p> <p>Rapport de recherche : Proposition d'un Modèle Conceptuel de Données pour îlot Ouvert de Fabrication manufacturière</p> <p>Rapport bibliographique: Bases de Données multi-média</p> <p>Faculté des Sciences et Techniques - Université Henri Poincaré - Nancy I</p>																					
<b>1989</b>	<p><b>Maîtrise Sciences et Techniques (MST)</b></p> <p>Spécialité : Automatique et Commande Numérique</p> <p>Faculté des Sciences et Techniques - Université Henri Poincaré - Nancy I</p>																					
<b>1987</b>	<p><b>Brevet de Technicien Supérieur (BTS)</b></p> <p>Spécialité : Mécanique et Automatismes Industriels (MAI)</p> <p>Institution Saint Joseph - Epinal (88)</p>																					
<b>1985</b>	<p><b>Baccalauréat Série E</b></p> <p>Institution Saint Joseph - Laxou (54)</p>																					



## 1.2 ACTIVITES LIEES A LA RECHERCHE

### 1.2.1 Problématique scientifique

La conception collaborative s'attache à la mise en commun d'intérêts et d'acteurs divers dans le but d'atteindre un propos commun qui est le développement de produits via le partage d'informations, d'interactions et de connaissances avec un certain niveau de coordination entre ces activités variées. Pour supporter cette coopération, les fonctions, jalonnant le cycle de vie produit, doivent disposer d'une information à la fois complète, précise et mise à jour sur tous les aspects du produit, des moyens et procédés de production et des gammes. Cette information partagée peut être structurée ou non, géographiquement délocalisée, partielle voire incomplète, difficilement localisable ou identifiable, porteuse d'une sémantique différente selon le métier.

En regard de cette problématique, mes travaux, initialisés par le Projet D.M.M.S. (*Design Management and Manufacturing System*) en 1994, se sont orientés vers la définition de **modèles, méthodes et outils** dans l'objectif de favoriser un meilleur travail au sein d'un contexte multi-acteurs en ingénierie concurrente. Ils se sont focalisés essentiellement sur la conception de produit, tant au niveau de la définition des données manipulées qu'au niveau de son processus de conception. En effet, la conclusion de ce projet a permis de définir des pistes de recherche qui ont été développées par la suite, dont l'enchaînement est décrit dans ce qui suit, et dont la synthèse est présentée Figure 1 (page 11). Les conclusions constituant mon point de départ sont les suivantes :

- 1) Pour la mise en place du référentiel D.M.M.S., un des postulats de base était que chaque poste de travail métier disposait de son propre référentiel pour les échanges intra-métier. Pour le poste du mécanicien, il pouvait s'agir d'une base de données réalisée à partir de modèles normalisés tels que ceux proposés par STEP. En implémentation, et pour l'étude de la conception et de l'automatisation conjointe du produit et de son processus d'usinage, nous avons retenu le logiciel PROPEL<sup>1</sup>. Après une étude approfondie, nous avons mis en évidence la difficulté d'insérer de nouvelles règles métiers dans la base de règles ainsi que la difficulté liée à l'appréciation de la pondération de celles-ci. En effet, dans PROPEL, les règles sont pondérées avec un poids fixe. La perspective proposée consistait à **définir le poids d'une règle en regard de son contexte d'utilisation**, c'est-à-dire en prenant en compte les informations dans le modèle produit nécessaires pour le calcul de ce paramètre. Les résultats apportés ont été réalisés en utilisant une formalisation à l'aide de la logique floue (suite à l'étude menée dans le DEA de Cyril Mouzeler) et ont fait l'objet de la Thèse de Cédric Derras, dans le cadre de la formalisation de l'imprécision informationnelle et des incertitudes décisionnelles des connaissances expertes pour la génération de processus de fabrication, ainsi que du Mémoire d'ingénieur CNAM de Philippe Richard, dans le cadre de l'aide à la conception de montages d'usinage modulaires (travail initialisé dans le Mémoire d'ingénieur CNAM de Christian Jacquot, par l'étude du rapprochement entre les décompositions fonctionnelles et organiques d'un montage d'usinage). Ces travaux ont donné lieu au prototype FUKAPP (*FUzzy Knowledge Aided Process Planning*).
- 2) Une des difficultés dans la mise en place du prototype D.M.M.S. a été de créer le référentiel inter-métier. La méthodologie employée a consisté en la fédération de parties des différents référentiels métiers constituant le prototype. Bien que l'implémentation ait été réalisée sous EMERAUDE V12, support de la norme P.C.T.E. (*Portable Common Tool Environment*), les mécanismes proposés, notamment les objets importés à partir de schémas de données ou de méta-modèle existants, n'ont pas permis de résoudre entièrement la problématique inhérente aux objets composites, multi-vues, de niveaux de granularité différents (argumentaire développé section 2.2.3.3) et ne propose pas d'approche sémantique pour guider la modélisation d'informations inter-métiers. Aussi, une autre perspective consistait à **formaliser une méthode de modélisation de données multi-points de vue** en regard des acteurs impliqués. Parallèlement à ces perspectives, la mise en place de l'architecture FUKAPP a conforté les besoins en terme de modélisation de données multi-métiers. Ce travail a fait l'objet de la Thèse d'Olivier Million et a consisté en la proposition d'une méthodologie de modélisation de données multi-points de vue V.I.M. (*View points Information Modelling*) supportée par un méta-modèle de données étendu. Ce travail a fait, entre autre, l'objet d'une application pour la modélisation d'un modèle produit multi-points de vue (DEA Janique Arzur)

<sup>1</sup> Tsang J.P., *Planification par combinaison de plan. Application à la génération automatique de gammes d'usinage*. Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble. 1987

ainsi que pour la proposition du modèle du transformateur dans le cadre du projet RNTL USIQUICK (Thèse de William Derigent). Le modèle ainsi obtenu a fait l'objet d'une proposition au sein de séminaires français autour de l'AP238 de STEP.

- 3) Dans le prototypage de l'architecture D.M.M.S., j'ai plus mis l'accent sur la mise en place d'une structure de données permettant de supporter un processus d'ingénierie concourante sans toute fois chercher à gérer temporellement ce processus. Néanmoins, j'ai participé à plusieurs études pour **comprendre, expliquer, tracer, modéliser ... le processus de conception en ingénierie concourante**. De part leurs caractères technique mais aussi social, ces études ont été exploitées par d'autres disciplines que la nôtre comme dans le cadre du projet CNRS SPI-SHS où il s'agissait d'étudier des scénarios de conception distribuée fortement localisée de manière à valider certains modèles organisationnels et de faire ressortir des critères permettant leur reproductibilité. D'autres scénarii ont été réalisés, notamment dans le travail du DEA de Cédric Derras (autour du concept fédérateur d'entité d'usinage) et dans le cadre du projet DSPT8 (conception d'un montage pour rivetage de tronçons d'avion pour DASSAULT Aviation). Enfin, dans le cadre du projet RNTL IPPOP, avec ALSTOM Moteurs Nancy comme site d'expérimentation, le prototype CO<sup>2</sup>MED (Thèse de Bertrand Rose) a été mis au point en vue de supporter des échanges semi-formalisés lors de la résolution de conflits en conception.

Les résultats de ces différents travaux se trouvent présentés section 2. Elle est décomposée en plusieurs facettes permettant de montrer **l'intégration des connaissances pouvant être faite autour du produit et autour du processus**.

Tout d'abord, la section 2.1 permet de situer l'activité de conception en précisant la mutation qui a permis de passer d'une ingénierie séquentielle vers une ingénierie concourante en permettant de décliner l'acronyme C.I.M., initialement *Computer Information Manufacturing*, en *Corporate Information Management* s'attachant plus à la sémantique des connaissances métier à intégrer qu'à leur syntaxe. De manière à situer la genèse de mes travaux de recherche, le projet D.M.M.S. est présenté partiellement en faisant ressortir les points forts qui m'ont guidés.

Aussi, après avoir rappelé les enjeux et la problématique liés à **l'intégration autour du produit**, la section 2.2 présente :

- **Une démarche orientée connaissances** (section 2.2.2). La problématique générale porte sur l'intégration des contraintes de fabrication en phase de conception via l'activité de génération du processus d'usinage. En parallèle à l'étude du processus d'usinage, plusieurs études ont été menées sur la conception de montage d'usinage, ressource utilisée lors de la fabrication du produit. Aussi, les activités de génération de gamme d'usinage ainsi que de conception du montage d'usinage ont été plus particulièrement étudiées car dans une vision d'ingénierie concourante elles doivent fournir des informations au plus tôt à la conception du produit. Plus précisément, la thèse de Cédric Derras propose une méthodologie de formalisation du processus de génération de gammes d'usinage en ingénierie concourante. Ce cadre de travail nécessite de manipuler d'une part **une représentation formelle du processus d'usinage** de manière à faciliter l'évaluation, par la simulation par exemple, des diverses solutions proposées. Ainsi, cela se traduit par une proposition d'extension de la structure algébrique temporelle (P)<sup>1</sup>, déjà utilisée pour la représentation de la gamme issue du logiciel PROPEL dans le projet D.M.M.S., en structure algébrique (P') permettant de supporter une notion de degré de possibilité associée à une assertion temporelle. Cela nécessite également d'autre part, de disposer d'une **représentation formelle des connaissances définissant le contexte de génération de gammes d'usinage**, dans ce que celui-ci comporte comme imprécision et incertitude, afin de produire plusieurs solutions de gammes possibles face à un problème donné. Les concepts utilisés sont ici issus de l'intelligence artificielle, plus particulièrement basés sur un modèle de raisonnement en logique floue utilisant des règles conjonctives. A partir d'un problème donné, ce modèle permet de produire les différentes alternatives de décisions possibles, en terme de gammes d'usinage, et de leur associer un degré de possibilité. La méthodologie proposée a également été validée pour l'assistance à la conception de montage d'usinage. Ces travaux ont fait l'objet de l'implémentation FUKAPP

<sup>1</sup> Bestougeff H., Ligozat G., *Outils logiques pour le traitement du temps ... de la linguistique à l'intelligence artificielle*. Ed Masson. Etudes et recherches en Informatique ERI. Paris. 1989

(FUZZY Knowledge Aided Process Planning), sur la plate-forme génératrice de systèmes à base de connaissances CAD-X1 (Kadetech – 69130 Ecully).

- **Une démarche orientée données multi-points de vue** (section 2.2.3). A partir du constat fait lors de la fédération des modèles pour l'implémentation du projet D.M.M.S., la problématique générale porte sur la mise à disposition des données techniques aux différents acteurs en regard de leur préoccupation métier. Un des points délicats concerne la mise en cohérence de modèles multiples des mêmes objets techniques. La présence de ces multiples facettes provoque en outre une importante redondance des informations. Aussi, dans ce contexte, il s'agit d'élaborer une démarche d'analyse et de modélisation des objets techniques des systèmes de production permettant de définir une représentation cohérente de ceux-ci. L'approche développée, dans les travaux de thèse d'Olivier Million, s'inscrit dans le cadre de la modélisation fondée sur un modèle unique. Les propositions portent, d'une part, sur **une démarche de modélisation progressive de données** basée sur le concept d'entité "pont" comme élément pivot ou frontière entre les sous-modèles intermédiaires servant à la construction du modèle final, et d'autre part, sur **une extension des méta-modèles des modèles de représentation statique de données** pour son implémentation dans un Atelier de Génie Logiciel. Toutefois, cette démarche est entreprise à partir d'un modèle initial, et la construction de celui-ci reste toujours quelque peu empirique.
- **Une démarche orientée traitements** (section 2.2.4). Aussi, dans le contexte particulier d'intégration de logiciels dans la chaîne C.F.A.O. (Conception et Fabrication Assistée par Ordinateur) la méthodologie précédente, initiée pour la modélisation d'objets techniques physiques, a été appliquée pour la modélisation d'objets techniques informationnels (Thèse de William Derigent). A partir des travaux de DEA de Ramy Harik, le modèle initial, consensus entre tous les métiers impliqués, a été construit et ajusté à partir des algorithmes mis en place en regard des préoccupations du projet RNTL USIQUICK. L'initialisation de la démarche n'est toujours pas résolue, par contre elle est guidée par les traitements effectués sur les données dans la phase de transformation d'un modèle C.A.O. en modèle F.A.O.

De façon duale, la section 2.3 présente les enjeux et la problématique liés à l'**intégration autour du processus**. Après avoir rappelé plusieurs études autour du processus de conception allant d'un cadre concourant à un cadre coopératif, en soulignant plus particulièrement les apports et conclusions des projets « **Conception distribuée** » (action SPI-SHS système de production du CNRS), et « **Scénario d'Ingénierie Communicante pour les Systèmes Intégrés de Production** » auxquels j'ai participé, la section 2.3.2 présente une **démarche orientée collaboration** via une première approche de formalisation de gestion du patrimoine des connaissances mises en œuvre et échangées en situation de conflits en ingénierie collaborative. Ce patrimoine s'accroît en regard de la complexité des produits conçus et des échanges. Ainsi, le travail mené lors de la thèse de Bertrand Rose propose de le gérer en le structurant de manière à pouvoir le réutiliser à bon escient tout au long du cycle de vie du produit. Ce travail a été intégré au prototype IPPOP et a fait l'objet d'expérimentation avec ALSTOM Moteurs Nancy.

La section 3 est à la fois une synthèse de mes travaux de recherche s'appuyant sur la vue informelle présentée ci-après et une proposition de modélisation plus formelle en NIAM/ORM de leurs principaux résultats. Sur la base de cette formalisation, la définition sémantique d'une typologie des relations identifiées dans mes travaux passés ainsi que l'introduction de mécanismes de transformation de ces relations typées sont utilisées pour contribuer à l'élaboration d'une ontologie métier et à son enrichissement par des perspectives futures de recherche au sein d'un cadre méthodologique plus formel.

La Figure 1 représente une synthèse temporelle et thématique de mes travaux en faisant apparaître les groupes de travail (GT) auxquels ces thèmes font référence. Cette figure est reprise dans les différentes sections de la partie 2 comme fil conducteur pour la lecture de ce manuscrit.

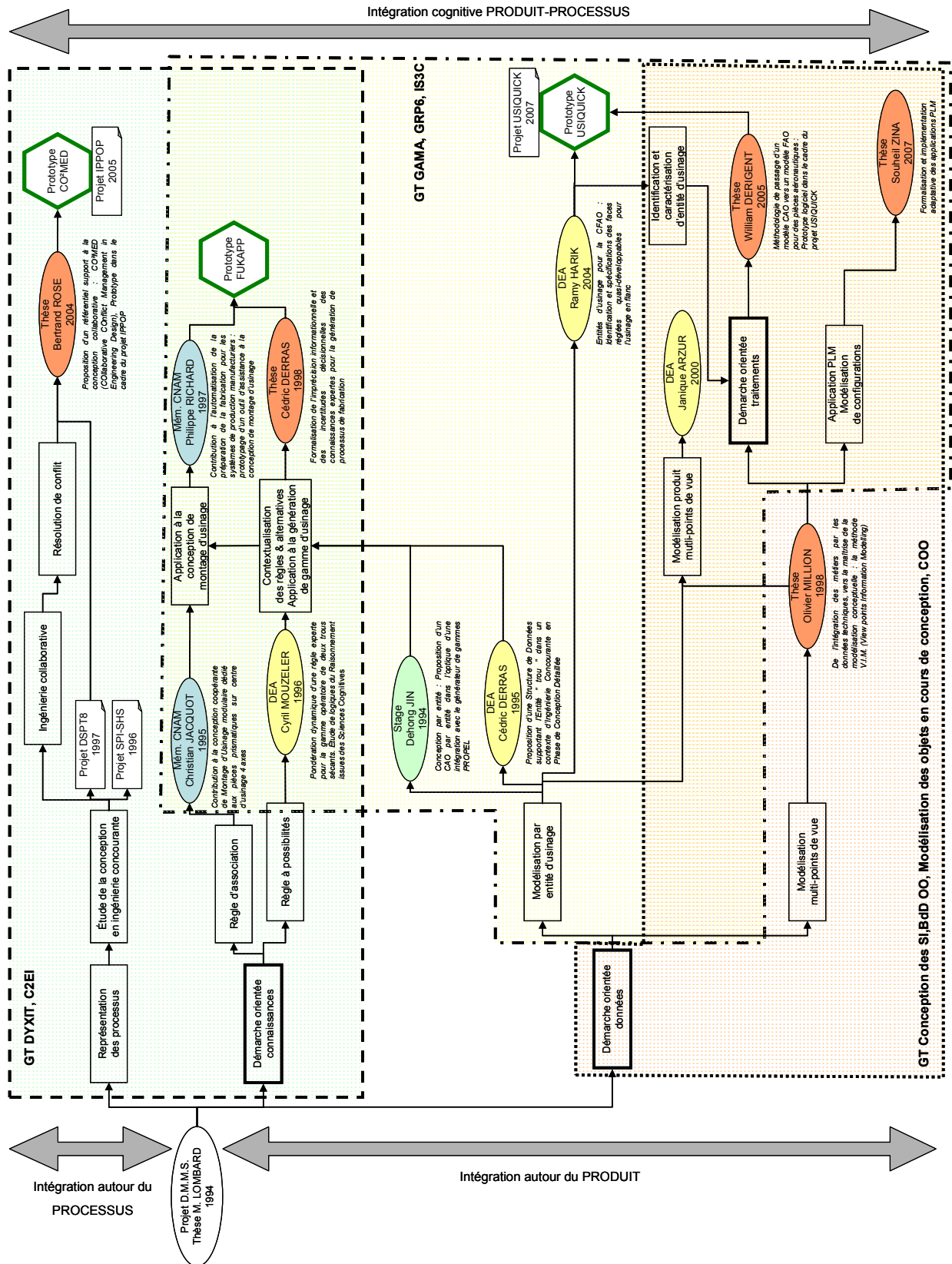


Figure 1 : Représentation informelle de l'organisation thématique de mes travaux de recherche et de leur développement

Mes activités liées à la recherche sont présentées dans ce qui suit de la façon suivante :

- un tableau synthétique regroupant quantitativement les différentes activités exercées,
- le détail de ces activités de manière qualitative.

### 1.2.2 Bilan de mon activité de recherche

Le tableau suivant synthétise mon activité de recherche depuis 1990. Le détail est précisé dans les sections référencées et permet ainsi de suivre l'évolution quantitative et qualitative de ma recherche.

Section	Rubrique	Quantitatif
1.2.3	Articles dans des revues	10 + 3 (en relecture)   6 N
1.2.4	Ouvrages de synthèse	5   – 2 N
1.2.5	Communications dans des colloques avec actes et comité de lecture	36   – 14 N
1.2.6	Communications sans acte avec ou sans comité de lecture, de groupes de recherche nationaux ou internationaux	15 N
1.2.7	Rapports de contrats de recherche	8
1.2.8	Projets de recherche nationaux	4 + 2 (déposés) + 1 (non retenu)
1.2.9	Groupes de travail	9 (participations) dont 2 (animations)
1.2.10	Participation à des jurys de thèse	1 + 4
1.2.11	Prix	1
1.2.12	Conférence invitée dans des colloques avec comité de lecture et actes	1
1.2.13	Membre de comités scientifiques de revues ou ouvrage	4
1.2.14	Critique scientifique pour publications	4
1.2.15	Membre de comités scientifiques de colloques internationaux	3
1.2.16	Membre de comités scientifiques de colloques nationaux	4
1.2.17	Organisation de sessions dans colloques internationaux	2
1.2.18	Présidence de sessions dans colloques internationaux	1
1.2.19	Présidence de sessions dans colloques nationaux	6
1.2.20	Organisation de colloques internationaux	4
1.2.21	Organisation de colloques nationaux	5
1.2.22	Transfert de connaissances scientifiques	5 + 2 (non réalisées)
1.3.1	Thèses soutenues	4
1.3.2	Thèse en cours	1
1.3.3	DEA Production automatisée	5
1.3.4	Mémoire d'ingénieur CNAM	2
1.3.5	Stage d'étudiants étrangers	3

Tableau 1 : Bilan quantitatif recherche

I : International - N : National

### 1.2.3 Articles dans des revues

- [A. 1] **Lombard M.**, Harik R., Derigent W., "Adjustment methodology of product and process models towards a global PLM model definition", *International Journal of Computer Aided Engineering*. (Retenu, en cours de relecture).
- [A. 2] **Lombard M.**, Rose B., "Managing a conflict in engineering design with CO<sup>2</sup>MED : industrial application", *International Journal of Concurrent Engineering : Research and Applications (CERA)*, special issue on Knowledge Management in Design. (Proposé, en relecture)
- [A. 3] Rose B., Robin V., **Lombard M.**, Girard Ph., "Management of engineering design process in collaborative situation", *International Journal of Product Lifecycle Management*. (Retenu, en cours de relecture)
- [A. 4] Yesilbas L., Rose B., **Lombard M.**, "Specification of a repository to support collaborative knowledge exchanges in IPPOP project", *Computers in Industry*, Vol. 59 No.9. (à paraître)
- [A. 5] **Lombard M.**, Gzara-Yesilbas L., "Towards a framework formalised exchanges during collaborative design", *Revue Mathematics and Computers in Simulation*, Computational Engineering in Systems Applications. Vol. 70, Issue 5-6, pp.343-357. ISSN 0378-4754. 24 February 2006.
- [A. 6] Robin V., Girard Ph., Rose B., **Lombard M.**, "Intégration des connaissances pour le pilotage des environnements de conception collaborative", *RFGI Revue Française de Gestion Industrielle*, pp.69-79. Volume 24, N°2. ISSN 0242-9780. 2005.
- [A. 7] Martin P., **Lombard M.**, "Modelling knowledge related to the allocation of modular jigs for part fixturing using fuzzy reasoning", *Revue International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. Springer-Verlag London Ltd. ISSN 0268-3768 (paper) 1433-3015 (Online) DOI 10.1007/s00170-004-2394-y. 2005.
- [A. 8] Gzara-Yesilbas L., **Lombard M.**, "Towards a knowledge repository for collaborative design coordination", *Revue Computers in Industry – Object-oriented Modelling in Design and Production*, ISSN 0166-3615, Vol. 55(3), pp 335-350. Ed. Elsevier. 2004.
- [A. 9] Rose B., **Lombard M.**, "Cycle de vie et formalisation des échanges lors de la gestion de conflits en conception collaborative", *RCFAO Revue internationale de CFAO et d'informatique graphique*, « De l'échange de données techniques au PLM », Vol.18, n°3, 2003.
- [A. 10] **Lombard M.**, Rose B., Gzara-Yesilbas L., Claudon P.A., "Vers un référentiel informationnel support à la gestion de conflits en conception collaborative de produits : Etude de cas industriel", *Revue Document numérique « Coopération et organisation numériques »* sous la direction de EYNARD B. et MATTA N. Edition Hermès-Lavoisier. ISSN 1279-5127, ISBN 2-7462-0896-2. Vol.8 – N°/2004
- [A. 11] Gzara L., **Lombard M.**, "Conception coopérative de produits mécaniques : aide à la gestion de conflits", *RSTI (Revue des Sciences et Technologies de l'Information) série ISI (Ingénierie des Systèmes d'information)*, « Systèmes d'information coopératifs » sous la direction de J.L. SOUBIE et P. ZARATE. Edition Hermès-Lavoisier. ISSN 1633-1311 - ISBN 2-7462-0788-5. Vol. 8, pp. 113-129. 2003.
- [A. 12] Derras C., **Lombard M.**, Lepage F., "A fuzzy reasoning method for modeling part fixturing knowledge imprecision and uncertainty", *Revue Manufacturing Control Optimization*. Edited by J. Jedrzejewski. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wroclawskiej. Karpacz (Pologne). ISSN 0867-7778. 1999.
- [A. 13] Million O., **Lombard M.**, Lepage F., "A modular approach to technical data modelling", *Revue Manufacturing Control Optimization*. Edited by J. Jedrzejewski. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wroclawskiej. Karpacz (Pologne). ISSN 0867-7778. 1999.
- [A. 14] **Lombard M.**, "Approaches in Integrated Design for Corporate Information Management (CIM) Architecture", *Revue Manufacturing Control Optimization*. pp. 13-29. Edited by J. Jedrzejewski. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wroclawskiej. Karpacz (Pologne). ISSN 0867-7778. 1997.

- [A. 15] **Lombard M.**, "Podejscia w zintegrowanym projektowaniu dla architektury korporacyjnego zarządzania", *Revue Optymalizacja Sterowania Wytwarzaniem*. Pod redakcją: Pr. J. Jedrzejewskiego. Agenda Wydawnicza SIMP. Program TEMPUS. ISSN – 1426-708X. 1997.
- [A. 16] **Lombard M.**, Sommer J.L., Gete E., Mayer F., "System-based Methodology for Concurrent Engineering", *Robotics and Manufacturing, recent trends in Research an applications*, Vol. 6, pp. 411 - 416, ISBN 0-7918-0047-4, ISSN 1052-4150. Editors M. Jamshidi, F. Pin, P. Dauchez. ASME Press Series. 1996.
- [A. 17] **Lombard M.**, "Integrated design for a Computer Information Management (CIM) project : distributed hypermedia information support systems", *Robotics and Manufacturing, recent trends in Research an applications*, Vol. 6, pp. 393 - 398, ISBN 0-7918-0047-4, ISSN 1052-4150. Editors M. Jamshidi, F. Pin, P. Dauchez. ASME Press Series. 1996.
- [A. 18] **Lombard M.**, Morel G, Garro O., Lhoste P., "Concurrent design management and manufacturing architecture". *Control Engineering Practice*, Volume 2, Issue 6, December 1994, pp. 1067-1068.
- [A. 19] Bron J.Y., **Lombard-Grégori M.**, Morel G., "Gestion technique en productique : application à la gestion des outils d'un centre d'usinage", *Revue d'automatique et de productique appliquées*. Vol.7, N°5/1994 - pp.553-562. Hermès ISSN 0990-7009. 1994.

#### 1.2.4 Ouvrages de synthèse

- [B. 1] Derigent W., **Lombard M.**, "Contribution à la conception de système d'information Produit : méthode pour une approche par modélisation multi-points de vue", dans le livre "*Ingénierie de la conception et cycle de vie des produits*" édité par B. Eynard, L. Roucoules et B. Yannou, et publié par Hermès Lavoisier *Traité IC2 Information, Commande, Communication*. Série Informatique et Systèmes d'Information. ISBN 2-7462-1214-5. 2006.
- [B. 2] Robin V., Rose B., Girard P., **Lombard M.**, "Management of Engineering Design Process in Collaborative Situation", dans le livre "*Advances in Design*" edited by ElMaraghy Hoda A. and ElMaraghy Waguih H. Part V, pp.257-269, ISBN 1-84628-004-4. Springer Series In Advanced Manufacturing. January 2006.
- [B. 3] Rose B., Robin V., **Lombard M.**, Girard Ph., "Use of collaborative knowledge and formalized exchanges to manage collaborative design environment", *Product Lifecycle Management : Emerging solutions and challenges for Global Networked Enterprise - Special Publication 1*. Editors: A. Bouras, B. Gurumoorthy et R. Sudarsan. Inderscience Enterprise Ltd. Pp.67-77. ISBN 0-907776-18-3. 2005.
- [B. 4] Rose B., **Lombard M.**, Gzara L., Lossent L., Claudon P.A., Leboeuf P., "Industrial Case of Product Design: Towards Specifications of a Collaborative Design Tool", dans le livre "*eAdoption and the Knowledge Economy (Issues, Applications, Case Studies)*", edited by Paul Cunningham and Miriam Cunningham, Part 2, pp.1301-1308, ISBN 1-58603-470-7, ISSN 1574-1230. IOS Press. 2004.
- [B. 5] **Lombard M.**, Rose B., Gzara L., "Modélisation de système d'information support à l'échange de connaissances collaboratives en conception mécanique : application à la gestion de conflits", dans le livre "*Gestion de la Dynamique des Connaissances Industrielles*" édité par B. Eynard, M. Lombard, N. Matta et J. Renaud, et publié par Hermès Lavoisier *Traité IC2 Information, Commande, Communication*. Série Informatique et Systèmes d'Information. Pp. 163-180. ISBN 2-7462-0952-7. 2004
- [B. 6] Rose B., Gzara L., **Lombard M.**, "Towards a formalization of collaboration entities to manage conflicts appearing in cooperative product design", dans le livre "*Methods and Tools for Cooperative and Integrated Design*" édité par Serge Tichkiewitch et Daniel Brissaud, et publié par Kluwer Academic Publishers. pp. 475-486. ISBN 1-4020-1889-4. January 2004.
- [B. 7] **Lombard-Grégori M.**, Mayer F., "System-based concurrent methodology for Discrete Manufacturing Engineering", dans le livre "*Advanced CAD/CAM Systems State-of-the-art and*

*future trends in feature technology*”, Part One “Organizational Aspects ” pp.3-16, Edited by R. SOENEN et G. OLLING, Published by Chapman & Hall, December 1994.

## 1.2.5 Communications dans des colloques avec actes et comité de lecture

### 1.2.5.1 Communications internationales

- [C. 1] Zina S., **Lombard M.**, Lossent L, Henriot C., “Generic modelling and configuration management in Product Lifecycle Management”, CESA’2006 “Computational Engineering in Systems Applications”. October 4-6 2006. Beijing (Chine)
- [C. 2] Zina S., **Lombard M.**, Lossent L, “Multi-view model for configuration management in PLM applications”, PLM’06 International Conference on Product Lifecycle Management. July 10-12 2006. Bangalore, Karnataka (India)
- [C. 3] Zina S., **Lombard M.**, Lossent L., “Integration of contextual views in configuration management for PLM applications”, ASBoHS IFAC/Automated Systems Based on Human Skill and Knowledge, May 22-24 2006, Nancy (France)
- [C. 4] Ouertani M. Z., Gzara-Yesilbas L., **Lombard M.**, “Managing data dependencies to support conflict management”, 16<sup>th</sup> International CIRP design seminar, July 16-19 2006, Alberta, (Canada).
- [C. 5] Ouertani M.Z., Gzara-Yesilbas L., **Lombard M.**, “A process model based methodology to support conflict management”, 12<sup>th</sup> IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing INCOM’06. 17-19 May 2006, Saint-Etienne (France).
- [C. 6] Roucoules L., Noël F., Teissandier D., **Lombard M.**, Debarbouillé G., Girard Ph., Merlo C., Eynard B., “IPPOP: an open source collaborative design platform to link product, design process and industrial organisation information”, 6<sup>th</sup> International Conference on Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering IDMME’06. 17-19 May 2006, Grenoble (France).
- [C. 7] Harik R., **Lombard M.**, Derigent W., “Product model adjustment methodology so as to support its PLM cycle”. CPI’05, 4<sup>th</sup> International Conference on Integrated Design and Production. 9-11 Novembre 2005, Casablanca (Maroc).
- [C. 8] **Lombard M.**, Rose B., “Conflict management in engineering design : Industrial evidence from CO<sup>2</sup>MED software”, 15<sup>th</sup> International Conference on Engineering Design – ICED’05, 15-18 August 2005, Melbourne (Australie).
- [C. 9] Robin V., Rose B., Girard Ph., **Lombard M.**, “Modelling collaborative knowledge to support engineering design project manager”, 17<sup>th</sup> IMACS World Congress, Scientific Computation, Applied Mathematics and Simulation. 11-15 July 2005, Paris (France).
- [C. 10] Derigent W., Harik R., **Lombard M.**, Ris G., “Development and integration of a 5 axis flank milling feature into a STEP Model”, 17<sup>th</sup> IMACS World Congress, Scientific Computation, Applied Mathematics and Simulation. 11-15 July 2005, Paris (France).
- [C. 11] **Lombard M.**, Rose B., Ris G., “Design in collaboration : existing trends and application to the case of conflict handling with CO<sup>2</sup>MED software”, 16<sup>th</sup> IFAC World Congress, session “Cultural and Cost Aspects of controlling a Distributed Collaborative Engineering”, 4-8 July 2005, Pragues (République Tchèque).
- [C. 12] Derigent W., Harik R., **Lombard M.**, Ris G., “Definition of the mechanical engineering workstation: towards a multi-viewpoint product modelling”, First International Congress Design and Modelling of Mechanical Systems, 23-25 March 2005. Hammamet (Tunisie).
- [C. 13] Rose B., **Lombard M.**, Gzara L., Lossent L., Claudon P.A., Leboeuf P., “Industrial Case of Product Design: Towards Specifications of a Collaborative Design Tool”, e-challenge 2004, Vienna, 27-29 October 2004.
- [C. 14] Robin V., Rose B., Girard Ph., **Lombard M.**, “Management of engineering design process in collaborative situation”, 14<sup>th</sup> International CIRP design seminar, Cairo, (Egypte), May 16-18 2004.



- [C. 15] Nowak P., Rose B., Saint-Marc L., Eynard B., Gzara-Yesilbas L., **Lombard M.**, "Towards a design process model enabling the integration of product, process and organisation", 5th International Conference on Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering, IDMME 2004, April 5-7 2004, Bath, Royaume Uni.
- [C. 16] Eynard B., **Lombard M.**, Matta N., Renaud J., "Cartographie des recherches en gestion des connaissances au sein du groupe DYXIT", CIGI'2003, 5th International Industrial Engineering Conference "Industrial Engineering and the New Global Challenges". Québec (Canada). 26-29 Octobre 2003.
- [C. 17] **Lombard M.**, Gzara L., Rose B., "Vers un référentiel support à la capitalisation de connaissances pour la conception coopérative de produit : spécifications statique et dynamique", CIGI'2003, 5th International Industrial Engineering Conference "Industrial Engineering and the New Global Challenges". Québec (Canada). 26-29 Octobre 2003.
- [C. 18] Rose B., Gzara L., **Lombard M.**, "Conflict handling method for mechanical product design", CE'2003 "Concurrent Engineering". Vol. 2, pp. 505-512. Madeire (Portugal). July, 2003.
- [C. 19] Gzara L., **Lombard M.**, "Cooperative design of mechanical product : specification for a conflict management support system", CESA'2003 "Computational Engineering in Systems Applications". Lille (France). 9-11 July, 2003.
- [C. 20] Rose B., Gzara L., **Lombard M.**, "Towards a formalization of collaboration entities to manage conflicts appearing in cooperative product design", CIRP Design Seminar "Methods and Tools for co-operative and integrated design", 12-14 May, 2003. Grenoble (France). Résumé pp. 33, communication sur CD-Rom.
- [C. 21] Derras C., Martin P., **Lombard M.**, "A Fuzzy Reasoning Based Method For Intelligent Process Planning In Manufacturing Engineering", ICME 2000 – 2nd CIRP International Seminar on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering. 21-23 Juin 2000 – Capri (Italie).
- [C. 22] **Lombard M.**, "De l'intégration de modèles vers l'ajustement d'un modèle unique de données en ingénierie intégrée : Proposition de la méthode V.I.M. (Viewpoints Information Modelling)", 3<sup>ème</sup> Conférence Internationale sur la Conception et la Fabrication Intégrées en Mécanique, proceedings of IDMME'2000 Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering. May 2000, Montréal (Canada). Résumé P. 108, Communication sur CD-Rom
- [C. 23] Ris G., Garon M., **Lombard M.**, Charpentier P., Bernard A., "Travail collaboratif, observation des acteurs sur un cas d'école", 3<sup>ème</sup> Conférence Internationale sur la Conception et la Fabrication Intégrées en Mécanique, proceedings of IDMME'2000 Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering. May 2000, Montréal (Canada). Résumé P. 128, Communication sur CD-Rom
- [C. 24] Arzur J., **Lombard M.**, Bernard A., "Correspondances entre caractéristiques (entités, feature) pour une application multi-vue, orientée métier, dans un modèle de pièce mécanique", 3<sup>ème</sup> Conférence Internationale sur la Conception et la Fabrication Intégrées en Mécanique, proceedings of IDMME'2000 Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering. May 2000, Montréal (Canada). Résumé P. 228, Communication sur CD-Rom
- [C. 25] Derras C., Levrat E., **Lombard M.**, "Intelligent Manufacturing Process Planning Using a Fuzzy Logic Based Method", 3<sup>ème</sup> Conférence Internationale sur la Conception et la Fabrication Intégrées en Mécanique, proceedings of IDMME'2000 Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering. May 2000, Montréal (Canada). Résumé P. 230, Communication sur CD-Rom
- [C. 26] Derras C., **Lombard M.**, Levrat E., "A fuzzy reasoning based method for modelling imprecision and uncertainty in knowledge for process planning manufacturing engineering", IAR'99 ICD Intelligent Techniques for Information Processing and Applications. Nancy (France), 10/12/1999.
- [C. 27] Derras C., Richard Ph., **Lombard M.**, Martin P., "Modeling knowledge related to the allocation of modular jigs for part fixturing using fuzzy reasoning", 2<sup>ème</sup> Conférence Internationale sur la Conception et la Fabrication Intégrées en Mécanique, proceedings of IDMME'1998 Integrated

- Design and Manufacturing in Mechanical Engineering, pp. 827-834. UTC, Compiègne (France), May 27-29, 1998.
- [C. 28] Million O., **Lombard M.**, Ris G., "Analysis and modelling of a technical information system : a modular approach", 2ème Conférence Internationale sur la Conception et la Fabrication Intégrées en Mécanique, proceedings of IDMME'1998 Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering, Vol.IV, pp. 1245-1252. UTC, Compiègne (France), May 27-29, 1998.
- [C. 29] Derras C., **Lombard M.**, Martin P., "Contribution of fuzzy logic to modeling expertise in intelligent manufacturing process planning systems", 4<sup>th</sup> IFAC Workshop on Intelligent Manufacturing Systems, IMS'97. Séoul (Corea), 21-23 Septembre 1997.
- [C. 30] Million O., **Lombard M.**, Picavet M., "Modeling of technical information system : application to cutting tool management", IEPM'97, International conference on Industrial Engineering and Production Management, EUCAM de Mons, INSA de Lyon - Université Claude Bernard de Lyon - ENSGI de Grenoble - Vol.1, pp. 230-239 - Lyon (France), 20-24 Octobre 1997.
- [C. 31] Derras C., **Lombard M.**, Martin P., "Modelling Manufacturing Engineering Expertise : From Feature Modelling to Manufacturing Process Planning", 1ère Conférence Internationale sur la Conception et la Fabrication Intégrées en Mécanique, proceedings of IDMME'96 Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering. Vol. 2, pp. 1043-1052. Nantes (France), 15-17 April 1996.
- [C. 32] Bounab M., **Lombard-Grégori M.**, "Tool Integration for Manufacturing Engineering", Proceedings of the 15<sup>th</sup> Canadian Congress of Applied Mechanics, CANCAM'95, pp.712-713, 28/05-1/06/1995 - Victoria (Canada)
- [C. 33] **Lombard-Grégori M.**, Mayer F., "System-based concurrent methodology for Discrete Manufacturing Engineering", IFIP - International conference on Feature Modelling & Recognition in advanced CAD/CAM Systems. 24-26 Mai 1994, Valenciennes (France).
- [C. 34] **Lombard M.**, Morel G., Garro O., Lhoste P., "Concurrent Design Management and Manufacturing Architecture", IFAC - 12<sup>th</sup> World Congress International Federation of Automatic Control - Vol IX, pp.317-320, 19-23/07/1993, Sydney (Australia)
- [C. 35] **Lombard M.**, Morel G., Gerval J.P., "Vers un Enseignement Assisté par Ordinateur : CIMExpert", Proceedings of PRO-FORMAT'92 - pp.151-155, 27-28/10/1992, Marseille (France)
- [C. 36] Gerval J.P., **Lombard M.**, Morel G., "CIMEXPERT : more than a training package", Proceedings of the 8<sup>th</sup> CARS & FOF Conference - pp.341-354, 17-19/08/1992, Metz (France)

#### 1.2.5.2 *Communications nationales*

- [D. 1] Rose B., **Lombard M.**, "Expérimentation d'un outil collaboratif en conception de produits : CO<sup>2</sup>MED (COllaborative CONflict Management in Engineering Design)", AIP-PRIMECA « Méthodes et modèles innovants pour la conception de systèmes industriels », La Plagne (France), 7-9 Avril 2005.
- [D. 2] Ouertani M.Z., Rose B., Gzara-Yesilbas L., **Lombard M.**, Lossent L., "Vers une structuration de la collaboration au sein du processus de conception", AIP-PRIMECA « Méthodes et modèles innovants pour la conception de systèmes industriels », La Plagne (France), 7-9 Avril 2005.
- [D. 3] Bertrand S., Rose B., **Lombard M.**, "CO<sup>2</sup>MED : Un référentiel collaboratif pour la gestion de conflits en conception de produits", 2<sup>ème</sup> colloque du groupe de travail C2EI (Modélisation et pilotage de systèmes de Connaissances et de Compétences dans les Entreprises Industrielles), 1er et 2 Décembre 2004, Nancy.
- [D. 4] Derigent W., Harik R., **Lombard M.**, Ris G., "Intégration conception/génération automatique de gammes en conception intégrée à partir de connaissances métiers", 2<sup>ème</sup> colloque du groupe de travail C2EI (Modélisation et pilotage de systèmes de Connaissances et de Compétences dans les Entreprises Industrielles), 1er et 2 Décembre 2004, Nancy.

- [D. 5] **Lombard M.**, Rose B., Gzara L., Claudon P.A., Leboeuf P., "Gestion des conflits en conception collaborative de produits mécaniques : application au cas d'un générateur d'éolienne", CITE'2003 Coopération, Innovation et Technologie. Pp.265-277. Troyes (France), 3-4 Décembre 2003.
- [D. 6] Rose B., Gzara L., **Lombard M.**, "Vers une formalisation des entités de collaboration dans la gestion des conflits en conception collaborative", AIP-PRIMECA « Pour le monde industriel actuel : la maîtrise des systèmes complexes », La Plagne (France), 31 mars-1,2 avril 2003.
- [D. 7] Rose B., Gzara L., **Lombard M.**, Lossent L., Ris G., "Vers un référentiel commun pour les connaissances collaboratives dans l'activité de conception", Actes du 1<sup>er</sup> Colloque du groupe de travail Gestion des Compétences et des Connaissances en Génie Industriel, « vers l'articulation entre compétences et connaissances », Nantes (France), 12-13 décembre 2002.
- [D. 8] Hasan R., Bernard A., **Lombard M.**, "Proposition d'un modèle de système pour l'intégration de la notion de situation de travail dans le processus de conception", 3<sup>ème</sup> Conférence francophone de Modélisation et SIMulation (MOSIM'01), Troyes (France), 25-27 Avril 2001.
- [D. 9] Million O., **Lombard M.**, Ris G., "Application de la méthode V.I.M. (Viewpoints Information Modelling) à la modélisation multi-points de vue des outils pour centre d'usinage", PRIMECA (Pôle de Ressources Informatiques pour la Mécanique), 6<sup>ème</sup> Colloque sur la Conception Mécanique Intégrée : *La Création des produits : Approches virtuelles de la réalité..* La Plagne (France). 7-9 Avril 1999.
- [D. 10] Million O., Picavet M., **Lombard M.**, "Démarche de conception des systèmes d'information dans le cadre de la modélisation multi-points de vue des données techniques", XVIème congrès INformatique des ORganisation et Systèmes d'Information et de Décision (INFORSID). pp. 251-267. ISBN 2-906855-14-6. Montpellier (France). 13-15 Mai 1998.
- [D. 11] Derras C., **Lombard M.**, Martin P., "La logique floue : Outils de formalisation des Connaissances Imprécises pour l'Intégration des Contraintes de Fabrication en Conception", PRIMECA, Pôle de Ressources Informatiques pour la Mécanique. 5<sup>ème</sup> Colloque sur la Conception Mécanique Intégrée. La Plagne (France). 2-4 Avril 1997.
- [D. 12] Derras C., **Lombard M.**, Mouzeler C., "Pondération dynamique de règles expertes pour gammes opératoires de fabrication mécanique", Rencontres francophones sur la logique floue et ses applications. LFA'96. 4-5 Décembre 1996. Nancy (France). pp. 154-161. Editions CEPADUES. ISBN 2 85428 433 X. 1996.
- [D. 13] **Grégori-Lombard M.**, "Rapporteur : La méthode HOOD", Journées de Synthèse Méthodes d'Analyse et de Conception Orientées Objet des Systèmes d'Information. AFCET. Paris (France). 22-23/11/1993
- [D. 14] **Grégori-Lombard M.**, "Rapporteur : La méthode O.O.A. de P. Coad et E. Yourdon", Journées de Synthèse Méthodes d'Analyse et de Conception Orientées Objet des Systèmes d'Information. AFCET. Paris (France). 22-23/11/1993

### 1.2.6 Communications sans acte avec ou sans comité de lecture, de groupes de recherche nationaux ou internationaux

- [E. 1] Derigent W., Ris G., **Lombard M.**, "Méthodologie de passage d'un modèle CAO vers un modèle FAO", Journées doctorales du GdR MACS pôle STP, GT IS3C. Lyon, 5-7 septembre 2005.
- [E. 2] Harik R., Derigent W., Ris G., **Lombard M.**, "De la transformation de modèle produit à la modélisation multi-points de vue", présentation dans le cadre de la journée « Modélisation de produits et applications » du GT IS3C du GdR MACS pôle STP, Paris, 12 juillet 2005.
- [E. 3] Zina S., Ris G., **Lombard M.**, Lossent L., "Approche méthodologique pour la standardisation de modèles produit au sein d'un outil PLM", présentation au GT IS3C du GdR MACS pôle STP, Clermont Ferrand, 31 Mars au 1<sup>er</sup> Avril 2005.

- [E. 4] Rose B., **Lombard M.**, "Proposition d'un référentiel support à la conception collaborative : COMED (COLlaborative CONflict Management in Engineering Design), Prototype logiciel dans le cadre du projet IPPOP", 2<sup>ème</sup> Atelier de Réflexion sur « l'Assistance à la Coopération en Architecture, Coordination & Maquette Numérique », organisé par le laboratoire MAP CRAI UMR 694, Nancy, 16 Décembre 2004.
- [E. 5] Rose B., **Lombard M.**, Ris G., "Spécification d'un référentiel support à l'échange de connaissances collaboratives en conception mécanique", présentation au GT IS3C, axe Conception du GdR MACS pôle STP, Nantes, 25 et 26 Mars 2004.
- [E. 6] **Lombard M.**, Eynard B., "DYnamique Collective des Connaissances IndusTrielles : bilan", présentation aux Journées du GRP6 Tarbes (France), 25 Octobre 2002.
- [E. 7] **Lombard M.**, Eynard B., "Rapport d'activité de l'axe modélisation des connaissances en conception", présentation aux Journées du GRP6 Grenoble (France), 21 Mars 2002.
- [E. 8] **Lombard M.**, Eynard B., "DYnamique Collective des Connaissances IndusTrielles", présentation aux Journées du GRP6 Toulouse (France), Novembre 2001.
- [E. 9] **Lombard M.**, "Aspect- multi-vues sur les données techniques pour l'intégration des métiers en productique", Actes de l'Université d'Automne PRIMECA (Pôle de Ressources Informatiques pour la Mécanique) : *Modélisation des processus de conception*. Nancy (France). 20-22 Octobre 1999.
- [E. 10] **Lombard M.**, Million O., "Intranet et base de données : un outil pour la gestion de projet en travail coopératif", Actes Journée thématique PRIMECA (Pôle de Ressources Informatiques pour la Mécanique) : *L'apport de l'Intranet dans la CMAO*. IFMA, Clermont-Ferrand (France), 10 Juin 1999.
- [E. 11] Derras C., Richard Ph., **Lombard M.**, "Méthode de formalisation des connaissances imprécises en ingénierie de conception de processus de fabrication", Journée du GT pour la Productique. Session « Modélisation des Produits, Processus, Procédés ». Ecole Normale Supérieure de Cachan (France) - 16-17 Octobre 1997.
- [E. 12] **Lombard M.**, "La Productique ... Communicante. Communications intra et inter entreprises", Rencontre avec des industriels lorrains organisée par le CUCES (Nancy) et l'AIP Lorrain (Nancy). 24 octobre 1996.
- [E. 13] Derras C., **Lombard M.**, Martin P., "Proposition de modélisation pour l'Entité " trou " dans un contexte d'ingénierie concourante", Actes Journée thématique PRIMECA : " La réorganisation de la conception dans un contexte concourant ", pp.44-50. AIP Lorrain, Nancy (France). 23 mai 1996.
- [E. 14] Ris G., **Lombard M.**, "Ingénierie concourante sur un problème d'école", Journée thématique PRIMECA : " L'enseignement de la C.M.A.O. ".pp.58-67. ENS Cachan (France). 22 mars 1996.
- [E. 15] **Grégori-Lombard M.**, "Modélisation des objets techniques : identification de quelques besoins", Présentation au GT AFCET Modélisation des objets en cours de conception (Responsables : H. HABRIAS, G. PIERRA) - Paris (France). Réunion du 12 janvier 1994.

### 1.2.7 Rapports de contrats de recherche

- [F. 1] Rose B., **Lombard M.**, Girard Ph., Noël F., "L2.1 : Données collaboratives", livrable RNTL, IPPOP, n°01 K 0788, juin 2005.
- [F. 2] Rose B., **Lombard M.**, Gzara L., Lossent L., Claudon P.A., Callot M., Girard Ph., "Description des scénarios - Partie 2", livrable intermédiaire RNTL, IPPOP, n°01 K 0788, janvier 2003.
- [F. 3] Rose B., **Lombard M.**, Gzara L., Lossent L., Claudon P.A., "Description de plans d'expérience", livrable intermédiaire RNTL, IPPOP, n°01 K 0788, janvier 2003.
- [F. 4] Rose B., **Lombard M.**, Gzara L., Eynard B., Roucoules L., Girard Ph., "Etat de l'art sur le modélisation processus", livrable intermédiaire RNTL, IPPOP, n°01 K 0788, mars 2003.

- [F. 5] Rose B., **Lombard M.**, Gzara L., Michel R., Merlo C., Eynard B., Roucoules L., Callot M., Girard Ph., “ R4.3 Spécifications Techniques d’Intégration”, délivrable intermédiaire RNTL, IPPOP, n° 01 K 0788, décembre 2002
- [F. 6] Rose B., **Lombard M.**, Gzara L., Girard Ph., Eynard B., Roucoules L., “Questionnaire T2.1, partie 2/2 : Produit-Processus et vue décisionnelle”, délivrable intermédiaire RNTL, IPPOP, n°01 K 0788, mai 2002.
- [F. 7] Rose B., **Lombard M.**, Gzara L., Callot M., Girard Ph, Eynard B., Roucoules L., “Description des scénarios - Partie 1”, délivrable intermédiaire RNTL, IPPOP, n°01 K 0788, août 2002.
- [F. 8] Bounab M., Godart C, **Lombard M.**, “An Over View of a DMMS Manufacturing Environment”, Rapport interne CRIN NANCY, N°93-R-101/1993.

### 1.2.8 Projets de recherche nationaux

**Responsable scientifique CRAN au sein du projet CIPI « Conception et fabrication intégrée, mise en production de produits innovants et propres : Conception et industrialisation de produits innovants (CIPI) »** dans le cadre du CEPR Contrat de Projet Etat-Région 2007-2013. Pôle MEPP, Projet P08. (en attente de labellisation)

**Durée** : 7 ans

**Montant total du projet subventionné** : 12 MEuros

**Montant total subventionné pour le CRAN** : 1,5 MEuros

**Partenaires universitaires** : CRAN, DCPR, GREFIGE-CEREMO, ERPI (Nancy), LGIPM, LICM (Metz), ERMeP (Saint Dié des Vosges)

**Structures de transfert** : AIP-Priméca Lorraine, Cré@ction (Nancy), CIRAM, CRITT TTI (Metz), CIRTES (Saint Dié des Vosges), Institut de soudure, CRITT Metall 2T, INRS

**Résumé** : Le projet CIPI a pour objectif de mettre en relation **des universitaires associés à des structures de transfert**, au moyens d'un réseau de plates-formes, de manière à couvrir l'ensemble des activités du **cycle de vie du produit** : innovation, conception conceptuelle, conception détaillée, prototypage, industrialisation, exploitation du système de production, recyclage en mettant en œuvre des méthodes, des modèles et des outils originaux à développer et à valider. Ce projet se veut à l'écoute des problématiques industrielles (grands groupes et PME-PMI). Il vise à apporter une réponse à certains verrous scientifiques ou technologiques de projets du pôle de compétitivité MIPI en particulier du projet majeur 2 (Outillage Rapides et Intelligents pour des Procédés de transformation Innovants et propres).

**Implication personnelle** : *J'interviens dans l'action scientifique 1 « Démarche d'Ingénierie Collaborative, Intégration des Connaissances lors du processus d'Innovation et de Conception (IC<sup>3</sup>) » plus particulièrement sur la structuration, la formalisation et la représentation des connaissances et contraintes technologiques dans un environnement multi-métiers comme support à l'action scientifique 3 « Nouveaux modèles, méthodologies et outils intégrés supportant la conception de produits à partir de maquettes et la RE-CONception de produits existants (RECO) ».*

**Responsable scientifique CRAN au sein du projet plate-forme PICS-PPO « Plate-forme d'Intégration logicielle pour la gestion des Connaissances et la Simulation du comportement Produit – Processus - Organisation en Ingénierie »** dans le cadre du programme RNTL, ANR, Ministère de la Recherche. (en attente de labellisation)

**Durée** : 3 ans – Dépôt dossier Mai 2006

**Montant total du projet subventionné** : 1 496 MEuros HT

**Montant total subventionné pour le CRAN** : 84 864 Euros HT

**Partenaires académiques** : ICD-LASMIS (Troyes), CRAN (Nancy), L3S (Grenoble), LGeCo (Strasbourg), LGIPM (Metz), Université Bordeaux 1 : LAPS, LMP, LIPSI,

**Partenaires industriels** : LASCOM (Bièvres) (responsable du projet), Constructions Navales de Bordeaux CNB, TDC (Goux les Usiers), DeltaCad, Mecamaster, Open CASCADE

**Résumé** : Le projet plateforme PICS-PPO fait suite au projet exploratoire IPPOP. Il vise à proposer une plateforme logicielle (environnement numérique) indispensable à la mise en œuvre des méthodes actuelles de conception (Ingénierie Simultanée, Conception Intégrée, Conception Collaborative, **Ingénierie Virtuelle**). Cette plateforme doit permettre la fédération de la communauté académique et industrielle (PME et grands groupes) existante autour des problèmes de **gestion, de visualisation et de simulation des données d'ingénierie tout au long du cycle de vie** du produit. Les données, information et connaissance d'ingénierie doivent être aujourd'hui relatives à **l'organisation de l'entreprise**, au **processus de conception** et au **produit** (ou service) faisant l'objet du résultat de la conception.

**Implication personnelle :** *J'interviens dans les actions relatives à l'analyse et au prototypage de nouvelles fonctions pour la plate-forme PICS-PPO, à savoir : l'intégration du système de gestion des connaissances, la gestion de la cohérence des données, la planification et supervision des activités et de la prise de décision au sein de l'entreprise étendue ainsi que dans les actions relatives aux développements et intégration de composants standards métiers communs.*

**Responsable scientifique CRAN au sein du projet plate-forme IPPOP2 « Intégration Produit – Processus - Organisation pour l'amélioration de la Performance en ingénierie »** dans le cadre du programme RNTL, ANR, Ministère de la Recherche. (Projet non labellisé)

**Durée :** 3 ans – Dépôt dossier Juin 2005

**Montant total du projet subventionné :** 2,718 MEuros HT

**Montant total subventionné pour le CRAN :** 210 080 Euros HT

**Partenaires académiques :** LASMIS (Troyes) (responsable du projet), CRAN (Nancy), L3S (Grenoble), LAPS (Bordeaux), LMP (Bordeaux), LIPSI (Bidart), ODIC (Compiègne), LGeCo (Strasbourg), LGIPM (Metz)

**Partenaires industriels :** Open Cascade Matra Datavision (Paris), LASCOM (Bièvres), France Télécom R&D (Lannion), EADS-CCR (Suresnes), Construction Naval de Bordeaux CNB

**Résumé :** Le projet plateforme IPPOP2 fait suite au projet exploratoire IPPOP. Il vise à fédérer une communauté académique et industrielle pour proposer un environnement numérique efficace pour la mise en œuvre des méthodes actuelles de conception (Ingénierie simultanée, Conception Intégrée, Conception Collaborative, Ingénierie Virtuelle). Ce projet concerne trois enjeux stratégiques : la mise à disposition d'une plateforme logicielle, la proposition et le développement complémentaires de modèles et de pratiques innovantes et la création d'une communauté active autour des solutions proposées.

**Implication personnelle :** *Je devais avoir en responsabilité le lot 2 « Extension et prototypage des concepts et pratiques innovantes » portant notamment sur la mise en place d'espace pour la conception collaborative et l'ingénierie virtuelle et sur la gestion de représentations multiples des données échangées entre des acteurs de métiers différents (sémantique et syntaxe de représentation) d'où l'étude également de la maîtrise de la cohérence de ces données (fusion de données, propagation de contraintes d'une représentation à une autre, ...).*

**Responsable scientifique CRAN au sein du projet exploratoire IPPOP « Intégration Produit – Processus - Organisation pour l'amélioration de la Performance en ingénierie »** dans le cadre du programme RNTL, ANR, Ministère de la Recherche.

**Durée :** 11/12/01– 31/06/05

**Montant total du projet subventionné :** 1,901 MEuros HT

**Montant total subventionné pour le CRAN :** 190 829 Euros HT

**Partenaires académiques :** LAP/GRAI (responsable du projet) et LMP (Bordeaux), CRAN (Nancy), LASMIS (Troyes), L3S (Grenoble)

**Partenaires industriels :** ESTIA-Innovation (Bidart), Open Cascade Matra Datavision (Paris), EADS-CCR (Suresnes, Toulouse), ALSTOM Moteurs (Nancy)

**Résumé :** Le projet exploratoire IPPOP a pour objectif d'intégrer les connaissances liées au produit et au processus pour contribuer à l'augmentation du patrimoine technologique de l'entreprise et à la maîtrise de la conduite de l'activité de conception.

**Implication et résultats personnels :** *J'ai principalement participé à la définition du modèle de processus et plus particulièrement à la définition du modèle de conception collaborative en regard de conflits apparaissant en cours de conception de produit. D'autre part, j'ai contribué à la validation des modèles de produit et d'organisation. J'ai suivi l'implémentation du démonstrateur IPPOP et plus particulièrement le développement du prototype logiciel CO<sup>2</sup>MED (COllaborative CONflict*

*Management in Engineering Design) par un ingénieur au CRAN, à partir des résultats des travaux de thèse de B. Rose (détails aux sections 1.3.1, 2.3.2) portant sur un modèle de processus collaboratif.*

**Contributeur au projet USIQUICK** dans le cadre du programme RNTL, Ministère de la Recherche.

**Durée :** 01/01/02 – 01/12/06

**Montant total du projet subventionné :** 1,6 MEuros HT (environ)

**Montant total subventionné pour le CRAN :** 292 753 Euros HT

**Partenaires académiques :** CRAN (Nancy), LURPA (Cachan), L3S (Grenoble), IRCCyN (Nantes), LGIPM (Metz)

**Partenaires industriels :** Dassault Aviation (maître d'œuvre, Paris), Dassault Systèmes (maître d'ouvrage, Paris), centre d'expertise CETIM (Paris)

**Résumé :** Le projet USIQUICK a pour objectif de développer un logiciel d'industrialisation de toute pièce mécanique réalisée par fraisage.

**Implication et résultats personnels :** *J'ai principalement participé à la définition du modèle de données multi-points de vue du transformateur situé à la charnière entre la conception et la génération de gamme d'usinage. Ce modèle de données a été présentés lors des séminaires organisés en France autour de l'AP 238 [ISO 10303-238] de la norme STEP. Ce travail constitue la vue statique des données échangées entre la CAO et la FAO et ont fait l'objet d'une partie des travaux de thèse de W. Derigent (détails aux sections 1.3.1, 2.2.4) et du DEA de R. Harick (référéncé section 1.3.3).*

**Contributeur au projet « Scénario d'Ingénierie Communicante pour les Systèmes Intégrés de Production »** dans le cadre de l'action incitative MENESR-DSPT8.

**Durée :** 1994 – 1997

**Montant total du projet subventionné :** 150 KF HT

**Partenaires académiques :** CRAN responsable du projet (Nancy), LAMIH (Valenciennes), LAN (Nantes), LIRMM (Montpellier)

**Résumé :** Le projet « Scénario d'ingénierie Communicante pour les Systèmes Intégrés de Production » avait pour objectif d'expérimenter et de valider une approche produit et processus pour la conception de produit permettant de mettre en exergue les problèmes d'imprécision du cahier des charges, d'incertitudes sur les contraintes, de cohérence et convergence des actions entre collaborateurs, les difficultés techniques pour le partage des données, la perte d'information lors des échanges ...

**Implication et résultats personnels :** *J'ai principalement participé à la définition de protocole d'échange d'information entre les différents métiers intervenant dans le processus d'ingénierie communicante. Plus particulièrement, je me suis attachée à définir et à implémenter un environnement basé sur un serveur Web couplé à une base de données EMERAUDE (support du standard PCTE). Enfin, ce projet m'a permis de proposer une représentation systémique du processus de conception.*

**Contributeur au projet « Conception distribuée »** dans le cadre du plan d'action CNRS SPI-SHS/ système de production.

**Durée :** 1994 – 1996

**Montant total du projet subventionné :** 60 KF HT

**Partenaires académiques :** CRAN responsable du projet (Nancy), L3S (Grenoble), Laboratoire de psychologie (Nancy)



**Résumé :** Le projet « Conception distribuée » avait pour objectif d'étudier des situations de conception avec une approche technique et une autre sociale permettant d'une part de tracer le processus d'émergence du produit en conception et d'autre part d'étudier la capacité d'un groupe à s'organiser.

**Implication et résultats personnels :** *J'ai principalement participé à des expériences de conception distribuée de manière à valider un modèle basé sur 3 modules : Fonctionnel, Structurel, Fabrication ainsi qu'une plate-forme de conception basée sur le logiciel MEDUSA permettant à deux concepteurs et un chef de projet de travailler dans un contexte d'ingénierie concurrente. Ces travaux ont eu un impact important sur la manière d'enseigner l'ingénierie concurrente à des élèves ingénieurs en les mettant en situation réelle avec un scénario réaliste même si simpliste à la base (jeu des CMAOistes).*

### 1.2.9 Groupes de travail

Le tableau ci-dessous regroupe mon implication dans différents groupes de travail :

#### Animation de groupes de travail

Depuis 2003	<p><b>GDR MACS pôle STP – Groupe de travail :</b></p> <p><b>IS3C :</b> Ingénierie des Systèmes de Conception et Conduite du cycle de vie produit. (Animateurs : M. BIGAND (Ecole Centrale de Lille), <b>M. LOMBARD</b> (CRAN) depuis octobre 2005)</p> <p>Ce groupe de travail fait suite au GRP thème 6 « Modélisation des Produits, Processus, Procédés » (voir ci-après)</p> <p>Voir site du GDR MACS ainsi que le site spécifique au GT IS3C : <a href="http://is3c.ec-lille.fr">http://is3c.ec-lille.fr</a></p> <p><b><u>A noter mon implication :</u></b> Membre du comité scientifique et d'organisation de l'école d'automne 2006 AIP-PRIMECA – GT IS3C « Evaluation et décision dans le processus de conception », responsable du thème « Système d'information pour la décision ».</p> <p><b>Positionnement sur l'axe « Système d'information pour la conception et la modélisation des produits »</b></p> <p><b>Nombre d'inscrits : 200</b></p>
2001 - 2004	<p><b>DYXIT</b> (DYnamique Collective des Connaissances IndusTrielles), Club génie industriel.</p> <p>(Animateurs : B. EYNARD (LASMIS), <b>M. LOMBARD</b> (CRAN), N. MATTA (Tech-Cico), J. RENAUD (ERPI)).</p> <p><b><u>A noter mon implication :</u></b> Ouvrage collectif traité <i>IC2 Information, Commande, Communication</i>. Série Informatique et Systèmes d'Information. « Gestion de la Dynamique des Connaissances Industrielles » sous la direction de B. EYNARD, <b>M. LOMBARD</b>, N. MATTA, J. RENAUD. ISBN 2-7462-0952-7. Editions Hermes Lavoisier. 2004</p> <p>Création d'un e-groupe privé sur le site <a href="http://fr.yahoo.com/">http://fr.yahoo.com/</a></p> <p>A l'issue de 3 ans d'existence, ce groupe est devenu le groupe de travail C2EI.</p> <p><b>Nombre d'inscrits : 60</b></p>

**Participation à des groupes de travail**

Depuis 2004	<p><b>GDR MACS pôle STP – Groupe de travail :</b></p> <p><b>C2EI :</b> Modélisation et pilotage des systèmes de connaissances et de compétences dans les entreprises industrielles</p> <p>(Animateur : E. CAILLAUD (LGECCO))</p> <p>Ce groupe de travail fait suite au groupe de travail DYXIT (voir ci-après).</p> <p><b>Positionnement sur les axes « Connaissances Industrielles » et « Intégration Connaissances et Compétences »</b></p> <p><b><u>A noter mon implication :</u></b> Organisation du 1<sup>er</sup> colloque du groupe de travail « <i>Modélisation et pilotage des systèmes de Connaissances et de Compétences dans les Entreprises Industrielles</i> » du GDR MACS, intitulé : « Intégration des connaissances et compétences en vue de l'amélioration de la performance industrielle », Nancy, 1-2 Décembre 2004. Co-présidente des comités scientifique et d'organisation.</p> <p><b>Nombre d'inscrits : 100</b></p>
1999-2003	<p><b>GRP</b> (Groupement de Recherche en Productique), <b>thème 6</b> « Modélisation des Produits, Processus, Procédés » (Animateurs : A. BERNARD (IRCCyN), M. TOLLENAERE (GILCO))</p> <p><b>Nombre d'inscrits : 50</b></p>
1991-1994	<p><b>Groupe COO</b> (Conception Orientée Objet des Systèmes d'Information), AFCET. (Animateur : Ph. PERRIN (EDF))</p> <p><b><u>A noter mon implication :</u></b> Membre du comité d'organisation et présidence d'une session (Méthodes françaises orientées objet qui utilisent un modèle entité-association) des Journées de synthèse « Méthodes d'Analyse et de Conception Orientées Objet des Systèmes d'Information », AFCET, Paris (France), 22-23 Novembre 1993.</p> <p><b>Nombre d'inscrits : 40</b></p>
1990-2001	<p><b>Groupe GAMA</b> (GAMme Automatique) (Animateurs : P. MARTIN (LGIPM), D. BRISSAUD (L3S)). Depuis 2001, ce groupe de travail a fait place au projet USIQUICK (détaillé section 1.2.8).</p> <p><b><u>A noter mon implication :</u></b> Définition du projet USIQUICK dans lequel le CRAN est partenaire.</p> <p><b>Nombre d'inscrits : 30</b></p>
1993-1994	<p><b>Groupe « Modélisation des objets en cours de conception »</b> AFCET (Animateurs : G. HABRIAS (IRIN), G. PIERRA (LISI))</p>
1990-1994	<p><b>Groupe 135 « Conception des Systèmes d'Information »</b>, sous-groupe formalisme individuel AFCET. (Animateur : Y. TABOURIER (Méga international))</p> <p><b>Nombre d'inscrits : 30</b></p>
1991-1993	<p><b>Groupe « Bases de données orientées objet »</b> AFCET (Animateur : S. GAMERMAN (O<sub>2</sub> Technology))</p>

**1.2.10 Participation à des jurys de thèse****Université de Technologie de Troyes****Thèse de Pierre NOWAK :**

**Titre :** « *Modélisation intégrée des alternatives de conception. Contribution à la traçabilité et réutilisation des connaissances en projets d'ingénierie mécanique* », Thèse de Doctorat, Université de Technologie de Troyes, soutenance prévue octobre 2006.

**Jury :** M. BIGAND, E. CAILLAUD (Rapporteurs), M. CALLOT, Ph GIRARD, **M. LOMBARD**, L. ROUCOULES (examineurs), B. EYNARD (Directeur de thèse)

**Université de Nancy I****Thèse de William DERIGENT :**

**Titre :** « *Méthodologie de passage d'un modèle CAO vers un modèle FAO pour des pièces aéronautiques : Prototype logiciel dans le cadre du projet USIQUICK* », Thèse de Doctorat, Université Henri Poincaré Nancy I, soutenue le 28 novembre 2005.

**Jury :** D. BRISSAUD, D. DENEUX (Rapporteurs), A. BOURJAULT, J.M. GRILLET (Examineurs), G. RIS (Directeur de thèse), **M. LOMBARD** (Co-directeurs de thèse, encadrement à 50%), Ch. ROUCHON, P. MERLAT (Invités industriels)

**Thèse de Bertrand ROSE :**

**Titre :** « *Proposition d'un référentiel support à la conception collaborative : CO<sup>2</sup>MED (COllaborative CONflict Management in Engineering Design), Prototype dans le cadre du projet IPPOP* », Thèse de Doctorat, Université Henri Poincaré Nancy I, soutenue le 21 décembre 2004.

**Jury :** A. BOURAS, D. DENEUX (Rapporteurs), Ph. GIRARD, P. MARTIN (Examineurs), G. RIS (Directeur de Thèse), **M. LOMBARD** (Co-directeurs de thèse, encadrement à 80%), P.A. CLAUDON, P. LEBOEUF (Invités industriels)

**Thèse d'Olivier MILLION :**

**Titre :** « *De l'intégration des métiers par les données techniques, vers la maîtrise de la modélisation conceptuelle : la méthode V.I.M. (View points Information Modelling)* », Thèse de Doctorat, Université Henri Poincaré Nancy I, soutenue le 21 décembre 1998, mention Très Honorable.

**Jury :** M. TOLLENAERE, F.B. VERNADAT (Rapporteurs), G. MOREL, M. PICAVET (Examineurs), G. RIS (Directeur de thèse), **M. LOMBARD** (Responsable associée de recherche encadrement à 80%)

**Thèse de Cédric DERRAS :**

**Titre :** « *Formalisation de l'imprécision informationnelle et des incertitudes décisionnelles des connaissances expertes pour la génération de processus de fabrication* », Thèse de Doctorat, Université Henri Poincaré Nancy I, soutenue le 11 décembre 1998, mention Très Honorable avec Félicitations du Jury.

**Jury :** D. BRISSAUD, L. FOULLOY (Rapporteurs), A. BERNARD, E. LEVRAT (Examineurs), P. MARTIN (Directeur de thèse), **M. LOMBARD** (Responsable associée de recherche encadrement à 80%), P. SERRAFERO (Invités industriels)

**1.2.11 Prix**

1992

**1<sup>er</sup> Prix - Bourse Eugène CLEMESY de l'INNOVATION 1992**

**LOMBARD M.**, BOUNAB M. (MOREL G., LHOSTE G., GODART C., DERNIAME J.C.)  
*Informatique Industrielle : Méthode d'Intégration de l'Approche Objet dans un Environnement Applicatif Procédural.*

Mulhouse, 23 Octobre 1992

**1.2.12 Conférence invitée dans des colloques avec comité de lecture et actes**

1997	<p>Conférence invitée sur le thème du « <b>Concurrent Engineering</b> ».  <b>Lectures in the VIII Workshop on Supervising and Diagnostics of Machining Systems.</b> Karpacz (Pologne)</p> <p>Action dans le cadre du projet TEMPUS S_JEP 09325 (1996 – 1998), partenaire : ITMIA of Wroclaw (Pologne)          Traduction simultanée en Polonais.          2-7 March 1997</p>
------	---

**1.2.13 Membre de comités scientifiques de revues ou ouvrages**

2006	<p><b>Relecture d'articles pour l'ouvrage</b> « <i>Ingénierie de la Conception et Cycle de vie des Produits</i> »</p> <p>Coordinateurs : B. EYNARD, L. ROUCOULES, B. YANNOU          Edition : Hermès Lavoisier, <i>Traité IC2 Information, Commande, Communication.</i>          Série Informatique et Systèmes d'Information. ISBN 2-7462-1214-5. 2006</p>
2005	<p><b>Rédacteur de l'éditorial et de l'analyse d'ouvrage</b> du Volume 24, N°1. <i>Revue Française de Gestion Industrielle (RFGI)</i>. Numéro spécial : Knowledge Management. Communications sélectionnées du colloque C2EI « Intégration des connaissances et des compétences en vue de l'amélioration de la performance industrielle ».</p> <p>Coordinateur : H. MOLLET          Edition : Association des Amis de la Revue Française de Gestion Industrielle          ISSN 0242-9780. 2005</p>
2004	<p><b>Relecture et coordination de l'ouvrage</b> « <i>Gestion de la Dynamique des Connaissances Industrielles</i> »</p> <p>Coordinateurs : B. EYNARD, <b>M. LOMBARD</b>, N. MATTA et J. RENAUD          Edition : Hermès Lavoisier, <i>Traité IC2 Information, Commande, Communication.</i>          Série Informatique et Systèmes d'Information.          ISBN 2-7462-0952-7. 2004</p>
2003	<p><b>Membre du comité scientifique du Numéro spécial de la revue internationale de CFAO et d'Informatique Graphique.</b> « <i>De la GDT au PLM</i> », Vol 18, N°4</p> <p>Coordinateurs : B. EYNARD et E. CAILLAUD.          Edition : Hermès-Lavoisier,          ISSN 0298-0924 – ISBN 2-7462-1162-9. 2003</p>

**1.2.14 Critique scientifique pour publications**

2006	<p><b>Critique scientifique : International Journal of Production Research.</b> 2006.</p> <p>Editors : J.E. Middle Loughborough University (UK)</p>
2006	<p><b>Critique scientifique</b> pour le track « Integrated Design of Product and Manufacturing Process »</p> <p><b>INCOM'06 – 12th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing.</b></p> <p>Conference chairs : R. GERMINET Director of the ENSM.SE (Honorary President), A. DOLGUI Director of the division for Industrial Engineering and Computer Sciences of the ENSM.SE (General Scientific Chair)          Saint-Etienne (France). 17-19 May, 2006.</p>

2004	<p><b>Critique scientifique</b> sur invitation de M. MEKHILEF, <i>Ecole Centrale Paris</i>, Email: <a href="mailto:Mounib.Mekhilef@lgi.ecp.fr">Mounib.Mekhilef@lgi.ecp.fr</a> (Review Coordinator) pour : DAC-13 Knowledge-Based Systems in Design/Knowledge Management dans le cadre de la conference :</p> <p><b>DECT04 2004 ASME International Design Engineering Technical Conferences &amp; Computers and Information in Engineering Conference</b></p> <p>General conference chair : A. R. PARKINSON, Professor, Mechanical Engineering Brigham Young University Salt Lake City, Utah. Sept. 28 to Oct. 2, 2004.</p>
1997	<p><b>Critique scientifique : International Journal of Intelligent Automation and Soft Computing Journal, Special issue on Intelligent Distributed Systems. 1997.</b></p> <p>Editors : M. JAMSHIDI, M. KAMEL</p>

### 1.2.15 Membre de comités scientifiques de colloques internationaux

2006	<p><b>SKIMA'06 International Conference on Software Knowledge Information Management and Application</b></p> <p>General co-chair : H. YU et A. BOURAS      Programm co-chairs : K. DAHAL et S. YU Publicity co-chairs : O.YU SOON et S.YU      Advisory co-chair : H. NGUYEN et R. RIJAL Conference coordinators : T. CHANDARASUPSANG et N. HARNPORNCHAI</p> <p>Chiang Mai (Thailand), 12-15 December 2006</p> <p><b>Nombre de participants :</b> (prévisionnel)</p>
2006	<p><b>PLEDM'06 « Product Lifecycle and Engineering Design Management »</b>, dans le cadre de <b>Virtual Concept'2006</b>.</p> <p>Cancun (Mexique), 30 November – 1 December 2006</p> <p><b>Nombre de participants :</b> (prévisionnel)</p>
2006	<p><b>9<sup>th</sup> symposium IFAC : ASBoHS « Automated Systems Based on Human Skill and Knowledge »</b>,</p> <p>Honorary President : C. GUIDAT      IPC Chair : S.Y. NOF General Scientific Chair : F. MAYER      IPC Scientific Co-Chair : J. STAHERE National Committee Chair : L. GUIMARAES      IPC Industrial Co-Chair : G. DOUMEINGTS</p> <p>Nancy (France), 22-24 May 2006</p> <p><b>Nombre de participants :</b> 100</p>

### 1.2.16 Membre de comités scientifiques de colloques nationaux

#### Présidente du comité scientifique :

2004	<p><b>C2EI, 2<sup>ème</sup></b> colloque du groupe de travail « <i>Modélisation et pilotage des systèmes de Connaissances et de Compétences dans les Entreprises Industrielles</i> » du GDR MACS « <i>Modélisation, Analyse, Conduite des Systèmes dynamiques</i> », Intégration des connaissances et compétences en vue de l'amélioration de la performance industrielle</p> <p>Présidents du comité scientifique : E. CAILLAUD, <b>M. LOMBARD</b>, J. RENAUD Nancy, 1-2 Décembre 2004.</p> <p><b>Nombre de participants :</b> 80 (environ)</p>
------	--

**Membre du comité scientifique :**

2006	<b>CITE'2006</b> Coopération, Innovation et Technologies Président du comité scientifique : P. SALEMBIER Nantes (France), 26-30 Juin 2006
2005	<b>9<sup>ème</sup> colloque national AIP-PRIMECA</b> , « Méthodes et modèles innovants pour la conception de systèmes industriels » Coordonnateurs : G. DEGALLAIX, D. DENEUX La Plagne (France), 7-9 Avril 2005 <b>Nombre de participants</b> : 180 (environ)
2002	<b>1<sup>er</sup> Colloque du groupe de travail Gestion des Compétences et des Connaissances en Génie Industriel</b> , « <i>vers l'articulation entre compétences et connaissances</i> » Président du comité scientifique : F. VERNADAT Nantes (France), 12-13 Décembre 2002 <b>Nombre de participants</b> : 60 (environ)

**1.2.17 Organisation de sessions dans colloques internationaux**

2006	<b>CESA'2006</b> : Computational Engineering in Systems Applications. General Co-Chairs : P. BORNE IPC Co-Chairs : X. ZENG Beijing (Chine), 4-6 Octobre 2006 <b>Titre de la session</b> : Engineering and management of design system Présidents de la session : <b>M. LOMBARD</b> , Ph. GIRARD <b>Nombre d'articles</b> : <b>6 retenus</b> sur 15 proposés
2006	<b>CESA'2006</b> : Computational Engineering in Systems Applications. General Co-Chairs : P. BORNE IPC Co-Chairs : X. ZENG Beijing (Chine), 4-6 Octobre 2006 <b>Titre de la session</b> : Integrated Design of Product and Manufacturing Process Présidents de la session : <b>M. LOMBARD</b> , B. EYNARD <b>Nombre d'articles</b> : <b>6 retenus</b> sur 10 proposés

**1.2.18 Présidence de sessions dans colloques internationaux**

1996	<b>IDMME'96</b> : Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering. Conference chairman : LE MAITRE F. Program committee chairman : CHEDMAIL P. Nantes (France). April 15-17, 1996. <b>Co-présidente de la session</b> : « CAM and off line programming for machining, robotics, weldings » <b>Nombre de participants</b> : 150 (environ)
------	---

**1.2.19 Présidence de sessions dans colloques nationaux**

2005	<p><b>9<sup>ème</sup> colloque AIP-PRIMECA</b>, « Méthodes et modèles innovants pour la conception de systèmes industriels »</p> <p>Coordonnateurs : G. DEGALLAIX, D. DENEUX La Plagne (France), 7-9 Avril 2005 Nombre de participants : 180 (environ)</p> <p><b>Présidente de la session</b> : <i>Gestion des connaissances et compétences</i></p>
2004	<p><b>C2EI, 2<sup>ème</sup> colloque</b> du groupe de travail « <i>Modélisation et pilotage des systèmes de Connaissances et de Compétences dans les Entreprises Industrielles</i> » du GDR MACS (<i>Modélisation, Analyse, Conduite des Systèmes dynamiques</i>), « <b>Intégration des connaissances et compétences en vue de l'amélioration de la performance industrielle</b> »</p> <p>Présidents du comité scientifique : E. CAILLAUD, <b>M. LOMBARD</b>, J. RENAUD Nancy, 1-2 Décembre 2004 Nombre de participants : 80 (environ)</p> <p><b>Présidente de la session</b> : <i>Intégration des connaissances en conception collaborative.</i></p>
2003	<p><b>8<sup>ème</sup> colloque national AIP-PRIMECA</b>, « Pour le monde industriel actuel : la maîtrise des systèmes complexes »</p> <p>Coordonnateur : Y. CARTONNET La Plagne (France), 31 mars, 1<sup>er</sup> et 2 avril 2003 Nombre de participants : 160 (environ)</p> <p><b>Présidente de la session</b> : <i>Gestion des connaissances en conception.</i></p>
2002	<p><b>1<sup>er</sup> Colloque du groupe de travail Gestion des Compétences et des Connaissances en Génie Industriel</b>, « <i>vers l'articulation entre compétences et connaissances</i> »</p> <p>Président du comité scientifique : F. VERNADAT Nantes (France), 12-13 décembre 2002 Nombre de participants : 60 (environ)</p> <p><b>Présidente de la session</b> : <i>Compétences/Connaissances et Conception/Ingénierie concurrente.</i></p>
2001	<p><b>7<sup>ème</sup> colloque national AIP-PRIMECA</b>, « Conception mécanique intégrée »</p> <p>Coordonnateur : G. RIS La Plagne (France), 1<sup>er</sup> au 4 avril 2001 Nombre de participants : 140 (environ)</p> <p><b>Présidente de la session</b> : <i>Modélisation et gestion de l'information.</i></p>
1993	<p><b>Journées de synthèse « Méthodes d'Analyse et de Conception Orientées Objet des Systèmes d'Information »</b></p> <p>Président de la conférence : X. CASTELANI AFCET, Paris (France), 22-23 Novembre 1993 Nombre de participants : 180 (environ)</p> <p><b>Présidente de la session</b> : <i>Méthodes françaises orientées objet qui utilisent un modèle entité-association.</i></p>

**1.2.20 Organisation de colloques internationaux****Membre du comité d'organisation :**

2006	<p><b>9<sup>th</sup> symposium IFAC : ASBoHS « Automated Systems Based on Human Skill and Knowledge »,</b></p> <p>Honorary President : C. GUIDAT                      IPC Chair : S.Y. NOF          General Scientific Chair : F. MAYER              IPC Scientific Co-Chair : J. STAHRE          National Committee Chair : L. GUIMARAES      IPC Industrial Co-Chair : G. DOUMEINGTS</p> <p>Nancy (France), 22-24 May 2006  <b>Nombre de participants : 100</b></p>
2005	<p><b>PLM'05, International Conference on Product Lifecycle Management</b></p> <p>Conference co-chairs : F. BERNARD, D. DUTTA, M. GREGORY          Program co-chairs : A. BOURAS, B. GURUMOORTHY          Lyon (France), 11-13 July 2005.  <b>Nombre de participants : 150 (environ)</b></p>
2001	<p><b>Assemblée Générale du CIRP 2001 &amp; 50ème anniversaire</b></p> <p>Conference chairman : M. VERON          Committee chairman : M. VERON          Nancy (France), August 15-19, 2001.  <b>Nombre de participants : 380 + 120 accompagnateurs (environ)</b></p>
1998	<p><b>9<sup>th</sup> Symposium International IFAC : INCOM'98 INformation COntrol in Manufacturing, Advances in Industrial Engineering,</b></p> <p>Conference chairmen : G. MOREL, M. ZAREMBA          Comitee chairmen : P. LHOSTE, F.B. VERNADAT          Nancy-Metz (France), June 24-26, 1998.  <b>Nombre de participants : 270 (environ)</b></p>

**1.2.21 Organisation de colloques nationaux****Présidente du comité d'organisation :**

2004	<p><b>C2EI, 2<sup>ème</sup> colloque du groupe de travail « Modélisation et pilotage des systèmes de Connaissances et de Compétences dans les Entreprises Industrielles » du GDR MACS (Modélisation, Analyse, Conduite des Systèmes dynamiques), « Intégration des connaissances et compétences en vue de l'amélioration de la performance industrielle »,</b></p> <p>Présidents du comité scientifique : E. CAILLAUD, <b>M. LOMBARD</b>, J. RENAUD          Nancy, 1-2 Décembre 2004.  <b>Nombre de participants : 80 (environ)</b></p>
------	--

**Membre du comité d'organisation :**

2001	<p><b>7<sup>ème</sup> colloque national AIP-PRIMECA, « Conception mécanique intégrée »</b></p> <p>Président du comité d'organisation : G. RIS          La Plagne (France), 1<sup>er</sup> au 4 avril 2001  <b>Nombre de participants : 140 (environ)</b></p>
------	--



1999	<p><b>Université d'Automne PRIMECA '99, Modélisation des processus de conception</b></p> <p>Président de l'Université d'Automne : M. VERON AIP Lorrain, Nancy (France), 20-22 mai 1999 <b>Nombre de participants</b> : 100 (environ)</p>
1996	<p><b>Journée thématique PRIMECA, La réorganisation de la conception dans un contexte concourant</b></p> <p>Président de la journée thématique : M. VERON AIP Lorrain, Nancy (France), 23 mai 1996 <b>Nombre de participants</b> : 40 (environ)</p>
1996	<p><b>Rencontre avec des industriels lorrains, La Productique Communicante ... Un Avenir Sûr Pour les PMI</b></p> <p>Organisateur : CUCES – Universités, AIP Lorrain (Nancy) AIP Lorrain (Nancy), 24 octobre 1996 <b>Nombre de participants</b> : 30</p>
1993	<p><b>Journées de synthèse « Méthodes d'Analyse et de Conception Orientées Objet des Systèmes d'Information »</b></p> <p>Président de la conférence : X. CASTELANI AFCET, Paris (France), 22-23 Novembre 1993 <b>Nombre de participants</b> : 180 (environ)</p>

### 1.2.22 Transfert de connaissances scientifiques

#### A destination d'étudiants et de chercheurs

2006	<p><b>Université AIP-PRIMECA'06 AI2P, Evaluation et Décision dans le processus de conception</b></p> <p>Soutenue par le GDR MACS – IS3C</p> <p>Membre du comité scientifique au titre de la coordination du Thème 7 « Système d'information pour la décisions » : <b>M. LOMBARD, C. MERLO</b></p> <p>Président de l'Université : B. YANNOU Membre du Comité Scientifique Ecole Centrale Paris (France), 4-8 septembre 2006 <b>Nombre de participants</b> : 100 (environ)</p>
1999	<p><b>Université d'Automne PRIMECA '99, Modélisation des processus de conception</b></p> <p><b>Titre de l'intervention</b> : Aspect multi-vues sur les données techniques pour l'intégration des métiers en productique</p> <p>Président de l'Université d'Automne : M. VERON AIP Lorrain, Nancy (France), 20-22 mai 1999 <b>Nombre de participants</b> : 100 (environ)</p>

#### A destination d'industriels

1996	<p><b>Rencontre avec des industriels lorrains, La Productique Communicante ... Un Avenir Sûr Pour les PMI</b></p> <p><b>Titre de l'intervention</b> : La Productique ... Communicante. Communications intra et inter entreprise</p> <p>Organisateur : CUCES – Universités, AIP Lorrain (Nancy) AIP Lorrain (Nancy), 24 octobre 1996 <b>Nombre de participants</b> : 30</p>
------	--

**A destination des enseignants du supérieur, formateurs, inspecteurs académiques**

1996	<p><b>Université d'été</b> : Réorganisation de la Mécanique dans un contexte concourant : la démarche CMAO</p> <p>Responsables pédagogiques : <b>Lombard M.</b>, Million O.         /animateurs : Gete E., <b>Lombard M.</b>, Million O., Ris G., Sommer J.L.          AIP Lorrain (Nancy), 08 au 13 juillet 1996  <b>Budget</b> : 129 633 Francs  <b>Nombre de participants</b> : 22</p>
1995	<p><b>Université d'automne</b> : Réorganisation de la Mécanique dans un contexte concourant</p> <p>Responsables pédagogiques : <b>Lombard M.</b>          AIP Lorrain (Nancy), 27 au 31 octobre 1995  <b>Budget demandé</b>: 77 978 Francs</p> <p><b>Formation acceptée mais non réalisée par manque de participants</b></p>
1994	<p><b>Université d'été</b> : Gestion Technique en Productique : Application aux outils d'un Centre d'Usinage</p> <p>Responsables pédagogiques : <b>Lombard M.</b>, Bron J.Y.         /animateurs : Gete E., <b>Lombard M.</b>, Bron J.Y.          AIP Lorrain (Nancy), 08 au 13 juillet 1996  <b>Budget</b> : 83 306 Francs  <b>Nombre de participants</b> : 16</p>
1994	<p><b>Université d'été</b> : Automatisation &amp; Ingénierie des Systèmes Intégrés de Fabrication Manufacturière</p> <p>Responsables pédagogiques : <b>Lombard M.</b>, Morel G.          AIP Lorrain (Nancy), 18 au 23 juillet 1994  <b>Budget</b> : 83 306 Francs</p> <p><b>Formation non retenue</b></p>
1993	<p><b>Université d'été</b> : Automatisation &amp; Ingénierie des Systèmes Intégrés de Fabrication Manufacturière</p> <p>Responsables pédagogiques : <b>Lombard M.</b>, Morel G.         /animateurs : lung B., Lhoste P., <b>Lombard M.</b>, Panetto H.          AIP Lorrain (Nancy), 19 au 24 juillet 1996  <b>Budget</b> : 75 120 Francs</p> <p><b>Nombre de participants</b> : 13</p>

### 1.3 ENCADREMENT DE RECHERCHE

Le Tableau 2 présente mon activité d'encadrement sous forme de chronogramme, le détail est précisé dans ce qui suit.

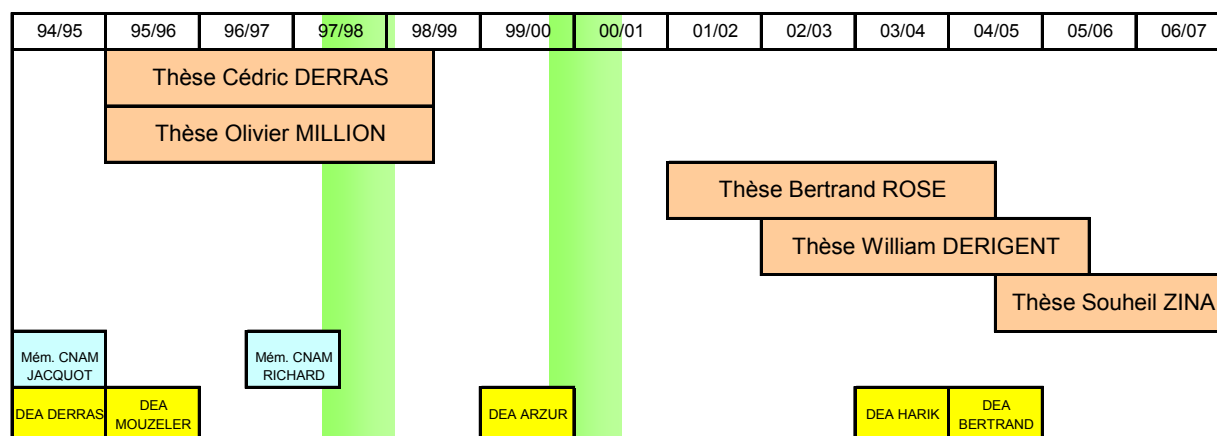



Tableau 2 : Chronogramme des encadrements depuis 1994

 Les années 1997 et 2000 correspondent à la naissance de mes deux enfants.

#### 1.3.1 Thèses soutenues

##### Thèse de William DERIGENT (co-encadrement à 50%, directeur de thèse Prof. G. RIS)

Thèse de Doctorat, Université Henri Poincaré Nancy I, soutenue le **28 novembre 2005**.

**Titre :** « *Méthodologie de passage d'un modèle CAO vers un modèle FAO pour des pièces aéronautiques : Prototype logiciel dans le cadre du projet USIQUICK* »

**Jury :** Directeur de thèse : G. RIS  
 Co-directrice de thèse : **M. LOMBARD**  
 Président : A. BOURJEAULT  
 Rapporteurs : D. BRISSAUD, D. DENEUX  
 Examineur : J.M. GRILLET  
 Invités : Ch. ROUCHON, P. MERLAT

**Résumé :** L'automatisation de la chaîne CFAO nécessite la « transformation » du modèle CAO (Conception Assistée par Ordinateur), issu de la conception, en un modèle FAO (Fabrication Assistée par Ordinateur), adapté aux tâches de préparation à la fabrication (détermination des posages, génération des gammes et calcul des trajectoires outils). Notre travail, réalisé dans le cadre du projet RNTL USIQUICK, a pour objectif de proposer une méthodologie de transformation permettant d'aboutir à un modèle FAO dédié à l'usinage 5axes de pièces aéronautiques.

En regard de cette problématique, la première partie de ce mémoire présente un état de l'art des différentes méthodes de transformation de modèles par reconnaissance d'entités et met en évidence l'inadéquation de celles-ci aux pièces aéronautiques. Nous proposons alors d'élaborer pour les tâches de préparation à la fabrication un modèle FAO s'appuyant directement sur le modèle CAO B-Rep, auquel sont ajoutées des informations relatives aux possibilités d'usinages des différentes faces le constituant. Chaque face enrichie du modèle est alors considérée comme une entité d'usinage dite « élémentaire ».

Pour aboutir à ce modèle FAO, nous proposons une méthodologie de transformation composée d'une vue statique (modèle de données) et d'une vue dynamique (processus de transformation). La deuxième partie du mémoire présente la vue statique. Elle s'appuie sur le modèle des données nécessaires au processus de transformation obtenu à l'aide de la méthodologie VIM (Viewpoint Integration Modelling). La vue dynamique, présentée dans la troisième partie, est constituée de deux étapes de traitements : la première dite étape « d'enrichissement » complète le modèle CAO par des

attributs géométriques et technologiques, la seconde dite étape « d'analyse d'usinabilité » traite ce modèle enrichi afin d'ajouter aux faces des informations d'usinage. Elle aboutit finalement au modèle FAO composé d'entités élémentaires.

Pour finir, nous validons, dans la dernière partie, les spécifications proposées par le développement et la mise en œuvre d'un démonstrateur sous CATIAV5®. Nous présentons les résultats obtenus sur quelques pièces aéronautiques.

**Financement :** Bourse du Ministère de la Recherche et de l'Enseignement

**Devenir :** Post-Doctorat au Design Automation Laboratory, Université de l'état d'Arizona (ASU) Phoenix (USA).

#### **Thèse de Bertrand ROSE (co-encadrement à 80 %, directeur de thèse Prof. G. RIS)**

Thèse de Doctorat, Université Henri Poincaré Nancy I, soutenue le **21 décembre 2004**.

**Titre :** « *Proposition d'un référentiel support à la conception collaborative : CO<sup>2</sup>MED (COllaborative CONflict Management in Engineering Design), Prototype dans le cadre du projet IPPOP* »

**Jury :** Directeur de thèse : G. RIS

Co-directrice de thèse: **M. LOMBARD**

Président : P. MARTIN

Rapporteurs : A. BOURAS, D. DENEUX

Examineur : Ph. GIRARD

Invités : P.A. CLAUDON, P. LEBOEUF

**Résumé :** Dans un contexte de performances de plus en plus exigeant, les acteurs de la conception sont invités à collaborer de plus en plus étroitement afin de mener à bien leur projet. Ces exigences de plus en plus pointues dans des domaines précis conduisent à une augmentation globale du patrimoine de connaissances des acteurs. La mise en commun de connaissances très diverses lors des phases de collaboration a très vite mis en évidence la nécessité de structurer ce patrimoine de manière à pouvoir le réutiliser à bon escient tout au long du cycle de vie du produit, afin notamment de prévenir d'éventuels conflits. La multiplicité des expertises et points de vue des acteurs rassemblés autour du projet de conception est un facteur d'amplification de ceux-ci. Dans ce contexte, notre travail propose une solution à la gestion et la résolution de conflits apparaissant autour des problèmes de conception. Nous présentons dans ce mémoire un référentiel pour la conception collaborative de produits spécifiquement dédié à la gestion de conflits. Ce référentiel propose une véritable infrastructure pour permettre aux différents acteurs impliqués dans un conflit de structurer leurs échanges et de capitaliser les solutions évoquées à des fins de réutilisation dans d'autres projets. Nous implémentons ce référentiel dans l'application logicielle **CO<sup>2</sup>MED (COllaborative CONflict Management in Engineering Design)**. Nous validons celui-ci sur un cas industriel issu de la conception d'un stator de moteur électrique chez Alstom Moteurs Nancy.

**Financement :** Projet IPPOP

**Devenir :** Maître de Conférences à l'Université Louis Pasteur (Strasbourg) depuis 01/09/2005.

#### **Thèse d'Olivier MILLION (co-encadrement à 80 %, directeur de thèse Prof. G. RIS)**

Thèse de Doctorat, Université Henri Poincaré Nancy I, soutenue le **21 décembre 1998**, mention Très Honorable.

**Titre :** « *De l'intégration des métiers par les données techniques, vers la maîtrise de la modélisation conceptuelle : la méthode V.I.M. (View points Information Modelling)* »

**Jury :** Directeur de thèse : G. RIS

Responsable associée de recherche : **M. LOMBARD**

Président : G. MOREL

Rapporteurs : M. TOLLENAERE, F.B. VERNADAT

Examinatrice : M. PICAUVET

**Résumé :** La méthode V.I.M. (*Viewpoints Information Modelling* déclinée comme *Viewpoints Integrated Manufacturing*) est une démarche de modélisation des informations sur les objets techniques des systèmes de production en vue de la modélisation des systèmes d'information dans un contexte multi-points de vue.

Nos travaux ont pour objectif principal, de contribuer d'une part à la définition d'une démarche méthodologique de modélisation des données techniques et d'autre part à la formalisation de ce processus par extension des formalismes de modélisation.

La première phase de la thèse a consisté à mettre en évidence les problèmes posés par la modélisation multi-points de vue des données sur des objets techniques complexes. Les difficultés sont d'ordre sémantique (multiplicité des points de vue et des langages métiers) et d'ordre syntaxique (représentation cohérente et intègre des données). Cette phase nous a conduits à élaborer un processus de modélisation en vue de représenter de manière non ambiguë les concepts partagés par les différents métiers.

La seconde phase est plus théorique et concerne la modélisation du processus de modélisation des objets techniques dans un contexte multi-points de vue et l'extension des langages de modélisation des données (formalisation ensembliste et extension des méta-modèles) en vue de supporter le processus de modélisation mis en œuvre.

La validation de nos propositions a été réalisée sous forme de prototypes. Un premier prototype supporte l'extension d'un langage particulier de modélisation de données (diagramme de classes de l'approche objet) et le deuxième est le résultat de la modélisation d'un objet technique particulier (outils du Centre d'Usinage de l'Atelier Inter-établissements de Productique Lorrain) dont les caractéristiques répondent à la problématique générale.

**Financement :** Bourse du Ministère de la Recherche et de l'Enseignement

**Devenir :** *Commercial/Supply Chain Functional Manager* chez ARCELOR Systems

<b>Thèse de Cédric DERRAS (co-encadrement à 80 %, directeur de thèse Prof. P. MARTIN)</b>
---

Thèse de Doctorat, Université Henri Poincaré Nancy I, soutenue le **11 décembre 1998**, mention Très Honorable avec Félicitations du Jury.

**Titre :** « *Formalisation de l'imprécision informationnelle et des incertitudes décisionnelles des connaissances expertes pour la génération de processus de fabrication* »

**Jury :** Directeur de thèse : P. MARTIN  
Responsable associée de recherche : **M. LOMBARD**  
Président : A. BERNARD  
Rapporteurs : D. BRISSAUD, L. FOULLOY  
Examineur : E. LEVRAT  
Industriel invité : P. SERRAFERO

**Résumé :** Un des problèmes rencontrés par le producticien, lors de la modélisation des connaissances pour la génération du processus de fabrication dans un contexte de conception intégrée, réside dans le fait que certaines de ces connaissances sont imprécisément verbalisées par les experts. Il résulte de cette imprécision informationnelle des connaissances une incertitude associée aux différentes alternatives décisionnelles durant le processus de raisonnement expert.

Les outils de formalisation actuels de ces connaissances ne permettent pas de modéliser les différentes imperfections qui y sont naturellement attachées. Ainsi, les décisions prises par les systèmes implémentant ces techniques sont restrictives en comparaison de celles prises par les experts. C'est pourquoi nos travaux de recherche visent à formaliser la sémantique (imprécision des connaissances, incertitude des décisions) des savoir-faire verbalisés par les experts, lors du processus de raisonnement pour la génération de gammes de fabrication.

Face à cette problématique, nous proposons de modéliser les savoir-faire définissant le contexte de l'activité de génération de gammes d'usinage, en utilisant un modèle de raisonnement en logique floue, basé sur l'utilisation de règles conjonctives. A partir d'un problème donné, ce modèle permet de produire les différentes alternatives de décision possibles, en terme de gammes d'usinage, et de leur associer un degré de possibilité. Dans l'objectif de construire différentes solutions de processus de

fabrication possibles, relativement à un même problème, nous utilisons un modèle de logique temporelle et l'étendons afin qu'il puisse supporter et manipuler les résultats produits par le modèle de raisonnement flou. L'implémentation de la méthode proposée, sur une plate-forme génératrice de systèmes à base de connaissances, constitue ainsi un prototype original d'assistance à la génération de processus de fabrication.

**Financement :** Bourse du Ministère de la Recherche et de l'Enseignement

**Devenir :** Chargé de projet informatique à la Société Générale de Milan, Italie

### 1.3.2 Thèse en cours

#### **Thèse de Souheil ZINA (co-encadrement à 80 %, directeur de thèse Prof. G. RIS)**

« *Formalisation et implémentation adaptative des applications PLM* »

Soutenance prévue pour **2007**.

**Financement :** Contrat CIFRE avec la société LASCOS (Bièvres)

### 1.3.3 DEA Production Automatisée

#### **Sébastien BERTRAND (encadrement à 100%)**

**Titre :** « *De l'intégration des Données Produit et des Processus au PLM. Elimination des reprises par intégration des données qualité inter-entreprises* ». Mémoire de DEA soutenu en Septembre 2005.

**Devenir :** Ingénieur chez INTECH (Luxembourg).

#### **Ramy HARIK (co-encadrement avec G. RIS)**

**Titre :** « *Entités d'usinage pour la CFAO : Identification et spécifications des faces réglées quasi-développables pour l'usinage en flanc* », Mémoire de DEA soutenu en Juillet 2004.

**Devenir :** Etudiant en doctorat au CRAN-NUMCOP<sup>2</sup>

#### **Janique ARZUR (co-encadrement avec A. BERNARD)**

**Titre :** « *Etude de correspondances entre entités pour une application multi-vues dans un modèle de pièce mécanique* », Mémoire de DEA soutenu en Juillet 2000.

**Devenir :** A poursuivit par une thèse au LGIPM (Metz) encadrée par le Prof. P. MARTIN soutenue en 2004

#### **Cyril MOUZELER (co-encadrement avec P. MARTIN)**

**Titre :** « *Pondération dynamique d'une règle experte pour la gamme opératoire de deux trous sécants. Etude de logiques du Raisonnement issues des Sciences Cognitives* », Mémoire de DEA soutenu en juillet 1996.

#### **Cédric DERRAS (co-encadrement avec P. MARTIN et P. CHARPENTIER)**

**Titre :** « *Proposition d'une Structure de Données supportant l'Entité "trou" dans un contexte d'Ingénierie Concourante en Phase de Conception Détaillée* », Mémoire de DEA soutenu en juillet 1995.

**Devenir :** A poursuivi par une thèse au CRAN (cf 1.3.1)

### 1.3.4 Mémoire d'ingénieur CNAM

**Philippe RICHARD (co-encadrement avec G. RIS)**

**Titre :** « Contribution à l'automatisation de la préparation de la fabrication pour les systèmes de production manufacturiers : prototypage d'un outil d'assistance à la conception de montage d'usinage », Thèse CNAM soutenue le 23 octobre 1997.

**Jury :** J.P. CORDEBOIS, **M. LOMBARD**, P. MARTIN, G. RIS, P. SERRAFERO, D. CARDON-DUBOIS

**Devenir :** Directeur général de la société CREALIZE qu'il a créé en 2000.

**Christian JACQUOT (co-encadrement avec P. MARTIN et A. D'ACUNTO)**

**Titre :** « Contribution à la conception coopérante de Montage d'Usinage modulaire dédié aux pièces prismatiques sur centre d'usinage 4 axes », Thèse CNAM soutenue en 1995.

**Jury :** J.P. CORDEBOIS, **M. LOMBARD**, P. MARTIN, P. FRANCOIS, A. D'ACUNTO, A. CINI, F. WILDENBERG

### 1.3.5 Stage étudiants étrangers

**Torgue HINRICHS (nationalité allemande)**

**Titre :** « Mise en place de règles expertes en génération de gammes d'usinage. Utilisation d'un système expert PROPEL »

**Durée :** 6 mois – 1998-1999

**Dehong JIN (nationalité chinoise)**

**Titre :** « Conception par entité : Proposition d'un CAO par entité dans l'optique d'une intégration avec le générateur de gammes PROPEL »

**Durée :** 1 an – 1994

**Christian KLINGER (nationalité allemande)**

**Titre :** « Définition d'une approche méthodologique pour la conception de montage d'usinage »

**Durée :** 6 mois – 1993

## 1.4 RESPONSABILITES COLLECTIVES ET PEDAGOGIQUES

### 1.4.1 Activité administrative

**Directrice des études** au département Génie Mécanique et Productique de l'IUT Nancy-Brabois pour les 1<sup>ère</sup> et 2<sup>ème</sup> années représentant environ 140 étudiants.

De 1997-1999

De septembre à décembre 2002, remplacement temporaire.

A partir de septembre 2006.

### 1.4.2 Conseils et jurys

#### Conseils

**Membre désigné à la Commission mixte de l'IUT Nancy-Brabois** suite à élection au Conseil d'Administration de l'IUT Nancy-Brabois, janvier 2006.

**Membre élu au Conseil d'Administration de l'IUT Nancy-Brabois** le 6 décembre 2005 pour une durée de 4 ans.

**Membre suppléant de la Commission de Spécialistes 61<sup>ème</sup> section** de l'Université Henri Poincaré, Nancy 1 (Elue en Juin 2004).

**Membre du Comité d'Orientation du groupement AIP-PRIMECA**, invitée pour le pôle Lorraine (depuis Octobre 2003).

**Membre du conseil du département Génie Mécanique et Productique de l'IUT Nancy-Brabois** Université Henri Poincaré, Nancy 1 (Depuis 1995).

**Membre du conseil du Centre de Recherche SME (Sciences de la Mécanique et de l'Energie)** de la Faculté des Sciences et Techniques - Université Henri Poincaré, Nancy 1 (élue le 18/12/1995).

#### Jurys :

**Présidente du jury de Validation des Acquis et de l'Expériences (VAE)** pour le Baccalauréat Professionnel Productique Mécanique. Session 2005 (9/12/2005) à Lunéville (54).

**Membre du Jury du Brevet de Technicien Supérieur (BTS)** en Productique, session 2003 à Epinal (88).

**Présidente du jury du Baccalauréat Professionnel Productique Mécanique** session 1998 à Saulxures-sur-Moselotte (88).



## 1.5 ACTIVITES PEDAGOGIQUES

Les activités pédagogiques relatées ici couvrent la période 1994-2006. Elles s'inscrivent dans le cadre de mon service statutaire (192 heures équivalent TD), effectué presque exclusivement au sein du département Génie Mécanique et Productique de l'IUT Nancy-Brabois du Montet, Université Henri Poincaré, Nancy I.

Les matières enseignées relèvent des Sciences pour l'Ingénieur, et traitent des domaines suivants :

- **le génie productique (automatique et robotique)** : les cours dispensés constituent mon service dans ma composante de rattachement,
- **le génie mécanique** : les cours dispensés portent sur les phases de pré-conception, sur les modèles support à la conception/réalisation de produit et sur les approches de génération automatique de leur gamme d'usinage,
- **le génie informatique** : les cours dispensés conduisent à l'acquisition de méthodes de conception de systèmes d'information dans le cadre de séminaires à la demande de différentes composantes.

### 1.5.1 Enseignements à l'IUT Nancy-Brabois, département Génie Mécanique et Productique depuis le 1<sup>er</sup> septembre 1994

#### 1.5.1.1 Descriptif des enseignements

Les enseignements d'automatismes séquentiels sont actuellement dispensés par un enseignant certifié (à la retraite en juin 2006) et moi-même. Les enseignements de robotique, que j'assure depuis 2001 sont réalisés par un maître de conférences 61<sup>ème</sup> section et moi-même.

J'assure :

- En automatismes séquentiels : la totalité des cours et des travaux dirigés, et selon les années et le nombre de groupes, une partie des TP de 1<sup>ère</sup> année (M128, M228), ainsi que la totalité des cours, travaux dirigés et travaux pratiques de 2<sup>ème</sup> année,
- En robotique : la totalité des cours et travaux dirigés, et selon les années et le nombre de groupes, une partie des TP de 2<sup>ème</sup> année

Depuis la rentrée de septembre 2005, le nouveau programme pédagogique national PPN est appliqué pour les enseignements de première année. Il prévoit :

N° du module : <b>M128</b>	Intitulé du cours : <b>Base de l'automatisme</b>
<i>Premier semestre</i>	Objectif : <b>Introduire les bases de l'automatisme</b> (algèbre de Boole, Diagramme de Karnaugh, fonctions logiques, système combinatoire).
<i>Nouveau cours depuis 09/2005</i>	Cours : <b>3h</b> TD : <b>6h</b> (3 groupes de 24) TP : <b>6h</b> (6 groupes de 12)

N° du module : <b>M228</b>	Intitulé du cours : <b>Automatisation d'un poste de travail</b>
<i>Deuxième semestre</i>	Objectif : <b>Automatiser un poste de travail isolé et introduire les règles concernant la sécurité des machines</b> (Système Automatisé de Production, GEMMA, GRAFCET, Automate programmable industriel et programmation, câblage séquenceur pneumatique).
<i>Nouveau cours depuis 09/2005</i>	Cours : <b>5h</b> TD : <b>13h</b> (3 groupes de 24) TP : <b>12h</b> (6 groupes de 12) <i>En 2005-2006, je n'assure que 2 groupes de TP, alors que les années précédentes, j'effectuais la moitié des TP.</i>

	Intitulé du cours : <b>Robotique</b>
<i>Troisième semestre</i>	Objectif : <b>Programmation d'un robot 6 axes en langage ISO ROBONUM 800</b> (Tracé dans le plan, assemblage d'un Tangram, courbe spline, tracé dans un plan quelconque)
<i>Nouveau cours depuis 2001</i>	Cours : <b>2h</b> TD : <b>3h</b> (2 groupes de 24) TP : <b>16h</b> (7 groupes de 8) <i>En 2005-2006, j'assure 5 groupes de TP</i>

sera remplacé dès la rentrée de septembre 2006 par :

N° du module : <b>M326</b>	Intitulé du cours : <b>Production - Robotique</b>
<i>Troisième semestre</i>	Objectif : <b>Programmer une cellule robotisée composée d'un robot Kuka 6 axes et d'un système de convoyage Flex-Link.</b>
<i>Nouveau cours à partir de 09/2006</i>	Cours : <b>2h</b> TD : <b>3h</b> (X groupes de 24) TP : <b>12h</b> (X groupes de 8)

	Intitulé du cours : <b>Systèmes automatisés flexibles</b>
<i>Troisième semestre</i>	Objectif : <b>Automatiser un bras manipulateur en utilisant la notion de modèle d'élément de partie opérative.</b>
<i>Nouveau cours depuis 1997</i>	Cours : <b>2h</b> TD : <b>3h</b> (2 groupes de 24) TP : <b>16h</b> (5 groupes de 12)

sera remplacé dès la rentrée de septembre 2006 par :

N° du module : <b>M327</b>	Intitulé du cours : <b>Systèmes automatisés distribués</b>
<i>Troisième semestre</i>	Objectif : <b>Automatisation une installation composée de cellules devant coopérer</b> , comprenant des éléments de dialogue homme/machine. Introduction des modes de marche en intégrant la sécurité des machines
<i>Nouveau cours à partir de 09/2006</i>	Cours : <b>4h</b> TD : <b>10h</b> (X groupes de 24) TP : <b>16h</b> (X groupes de 12)

Ma charge totale annuelle pour 2005/2006 est de l'ordre de 225h équivalent TD au sein de ma composante de rattachement.

#### 1.5.1.2 *Descriptif de travaux pratiques en automatismes séquentiels*

Pour les étudiants de 1<sup>ère</sup> année, les travaux pratiques sont effectués au département Génie Mécanique et Productique.

Dès mon arrivée, j'ai pris en charge la salle de travaux pratiques du département (Figure 2). La taille des groupes de TP étant passée de 8 à 12 étudiants, il m'a fallu définir de nouvelles manipulations comme l'ascenseur (Figure 3) qui a été réalisé entièrement au département.

En 2002, j'ai suivi le changement de tous les automates programmables de la salle de travaux pratiques du département selon les devis retenus de Schneider Electric.

Pour les étudiants de 2<sup>ème</sup> année, les travaux pratiques sont effectués au pôle AIP-PRIMECA Lorraine sur le système flexible de production.

Dès mon arrivée, j'ai réorganisé l'enseignement des systèmes automatisés pour le cursus de la deuxième année en utilisant les ressources mises à disposition par le pôle AIP-PRIMECA Lorraine. Dans ce contexte, j'ai participé à différentes réunions qui ont permis de spécifier les besoins pédagogiques pour la réalisation du système flexible de production (SFP).



Figure 2 : Salle de TP (IUT GMP)

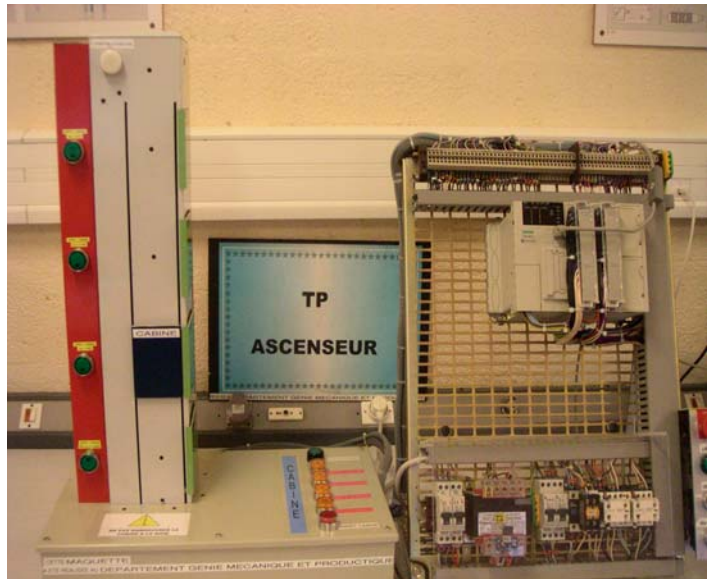


Figure 3 : Manipulation de l'ascenseur

Ascenseur desservant 4 étages  
 Bouton d'appel, bouton d'envoi de la cabine  
 Gestion des voyants  
 Afficheur d'étage  
 Automate : TSX Micro TELEMECANIQUE, 2 cartes d'E/S

### 1.5.2 Vacations principales

Au sein du département Génie Mécanique et Productique de l'IUT Nancy-Brabois, Nancy I :

1994	<b>DUT Génie Mécanique et Production / Formation continue</b>
1996	Intitulé du cours : <b>Systèmes automatisés flexibles</b> Objectif : <b>Automatiser un bras manipulateur en utilisant la notion de modèle d'élément de partie opérative.</b> Cours : 2h TD : 3h TP : 16h
1994	<b>DIT Productique puis DNTS CPA/productique</b>
2000	Intitulé du cours : <b>Spécification de hiérarchie au niveau de la structuration de la partie commande</b> Objectif : <b>Avoir une approche hiérarchique fonctionnelle de l'automatisation d'un système. Travailler en collaboration.</b> Cours : 2h TP : 12 à 16h

Au sein d'ESIAL (Ecole Supérieur d'Informatique et Application de Lorraine), Nancy I :

1998	<b>ESIAL 2<sup>ème</sup> année (Bac +4) Module : C.M.A.O./F.A.O.</b>
2000	Intitulé du cours : <b>Analyse fonctionnelle, analyse de la valeur</b> Objectif : <b>Appréhender au travers d'exemples techniques l'analyse fonctionnelle et l'analyse de la valeur.</b> Cours : 8h TD : 8h

2000 2001	<p><b>ESIAL 2<sup>ème</sup> année (Bac +4) Module : Modèles pour la représentation des informations industrielles</b></p> <p>Intitulé du cours : <b>Méthodes de représentation des informations industrielles relatives aux phases de conception</b></p> <p>Objectif : <b>Modélisation express et express-G, application à la modélisation de la norme STEP.</b></p> <p>Cours : <b>8h</b></p>
1999 2001	<p><b>ESIAL 3<sup>ème</sup> année (Bac +5)</b></p> <p>Intitulé du cours : <b>Approches génératives de gammes d'usinage</b></p> <p>Objectif : <b>Présenter les différentes approches pour la génération automatique d'usinage.</b></p> <p>Cours : <b>8h</b></p>
Au sein du département STMIA de la Faculté des Sciences, Nancy I :	
Depuis 2005	<p><b>Master Design Global, option M2 Professionnel CPPM « Conception Produits, Procédés, Matériaux » - UE1 : Design industriel – Module 2</b></p> <p>Intitulé du cours : <b>Ingénierie simultanée et gestion de projet</b></p> <p>Objectif : <b>Problématique d'intégration autour du modèle produit.</b></p> <p>Cours/TD : <b>4 h</b></p>
	<p><b>Master Design Global, option M2 Professionnel CPPM « Conception Produits, Procédés, Matériaux » - UE2 : Développement rapide de produit – Module 2</b></p> <p>Intitulé du cours : <b>Gestion et échange de données numériques</b></p> <p>Objectif : <b>Méthodes d'intégration pour la gestion de données numériques multi-points de vue.</b></p> <p>Cours/TD : <b>4 h</b></p>
A l'Université de Technologie de Troyes (UTT) :	
Depuis 2000	<p><b>Unité de valeur LO15, Systèmes de gestion du cycle de vie des produits. (Bac +5)</b></p> <p>Intitulé du cours : <b>Gestion des données techniques</b></p> <p>Objectif : <b>Présentation des méta-modèles supports à la modélisation de données pour les systèmes d'information. Méthodologie V.I.M. (View points Information Modelling)</b></p> <p>Cours : <b>4 à 6h</b></p>

Ma charge totale annuelle de vacation est de l'ordre de 15h équivalent TD.

### 1.5.3 Perspectives d'enseignement

Proposé  
en 2005  
mais  
non  
ouverte

#### **Master Ingénierie Système en EEAPR option M2 Parcours P5**

Intitulé de l'UE de différenciation : **Innovation et conception de produit**

Objectif : **Présentation de différentes approches permettant de prendre en compte l'aspect collaboratif en conception innovante de produit. Utilisation de la maquette issue du projet IPPOP et plus particulièrement CO<sup>2</sup>MED.**

Cours : **4h CM et 4h TD**

#### **Master Ingénierie Système en EEAPR option M2 Parcours P5**

Intitulé de l'UE de différenciation : **Cycle de vie produit – Analyse et gestion**

Objectif : **Acquisition des connaissances théoriques et des compétences pratiques en matière d'analyse du cycle de vie d'un produit et plus particulièrement sur la gestion intégrée des informations supports de cette analyse.**

Cours : **4h CM et 4h TD**

En regard des perspectives de recherche présentées section 3, des contacts ont été pris pour envisager une formation au sein du Master INE (Information Numérique en Entreprise) de manière à proposer des enseignements en méthodologie de modélisation informationnelle autour des phases de conception/réalisation de produits manufacturiers en prenant en compte les points de vue métier.

### 1.5.4 Formations diverses, universités d'automne (à destination de chercheurs et industriels), universités d'été (à destination des enseignants du supérieur, formateurs, inspecteurs académique)

Le récapitulatif est présenté section 1.2.22.

## 2. INTEGRATION DES METIERS EN CONCEPTION

---

*« Les situations perçues comme complexes, que l'on tient pour de plus en plus fréquentes, dans lesquelles les problèmes sont difficilement et incomplètement perçus, les critères multiples et enchevêtrés, les effets induits malaisément anticipables ... appellent souvent une intervention cognitive de conception : il s'agit de modéliser, de concevoir des modèles possibles, et qui n'existent pas encore. »*

Jean-Louis LEMOIGNE

Intelligence et conception  
tiré de *Intelligence des mécanismes, mécanismes de l'intelligence*  
Fayard/Fondation Diderot, 1986.

Dans le contexte où la conception de produit constitue un enjeu majeur pour la performance et la compétitivité des entreprises, les travaux présentés ci-après se positionnent dans un cadre plus large que celui défini par l'ingénierie des systèmes d'information supports à la conception et réalisation de produits manufacturiers par la prise en compte des objets de connaissances nécessaires à la mise en place de tels systèmes.

Les systèmes étudiés font intervenir de nombreux outils logiciels et acteurs au sein d'un processus de conception. L'intervention même de ces acteurs, issus de différents métiers, dont le comportement est de par nature imprévisible, donne à l'étude de tels systèmes un caractère complexe. Les systèmes utilisés, tout au long du cycle de vie produit, s'appuient sur un ensemble de connaissances formalisées dans les outils logiciels ou que possèdent implicitement les acteurs impliqués. De ce fait, ils manipulent des modèles souvent spécifiques à un domaine particulier.

Aussi, l'une des voix d'amélioration des systèmes de conception et réalisation de produits manufacturiers repose sur une meilleure adéquation de ceux-ci en regard des points de vue des acteurs et de leur contexte d'utilisation ainsi que sur une meilleure communication ou échange entre eux voire d'une meilleure intégration.

Aussi, nous proposons dans ce qui suit, un bilan de nos travaux de recherche concourant à proposer des voix d'amélioration autour de l'intégration produit-processus.

La lecture des sections suivantes est guidée par la vue informelle (Figure 4) qui permet de situer différents aspects autour de l'intégration du produit (section 2.2) et de l'intégration autour du processus (section 2.3). La section 3 s'appuie sur la vue informelle présentée Figure 4 de manière à proposer une modélisation plus formelle de mes principaux résultats de recherche. Des perspectives sont proposées au travers d'un cadre méthodologique contribuant à l'élaboration d'une ontologie métier pour la conception et réalisation de produits manufacturiers.

Nos travaux trouvent un positionnement autour des groupes de travail *DYXIT* et *C2EI* du GDR MACS pour la partie modélisation de connaissances dans l'étude de processus collaboratif mais aussi dans l'étude du processus de génération de gammes d'usinage.

Nos travaux trouvent également un positionnement autour des groupes de travail *Conception des Systèmes d'Informations*, *Bases de Données Orientées Objet*, *Modélisation des Objets en cours de conception*, *Conception Orientée Objet des systèmes d'information* pour la modélisation statique des objets manipulés au sein du processus de conception/réalisation.

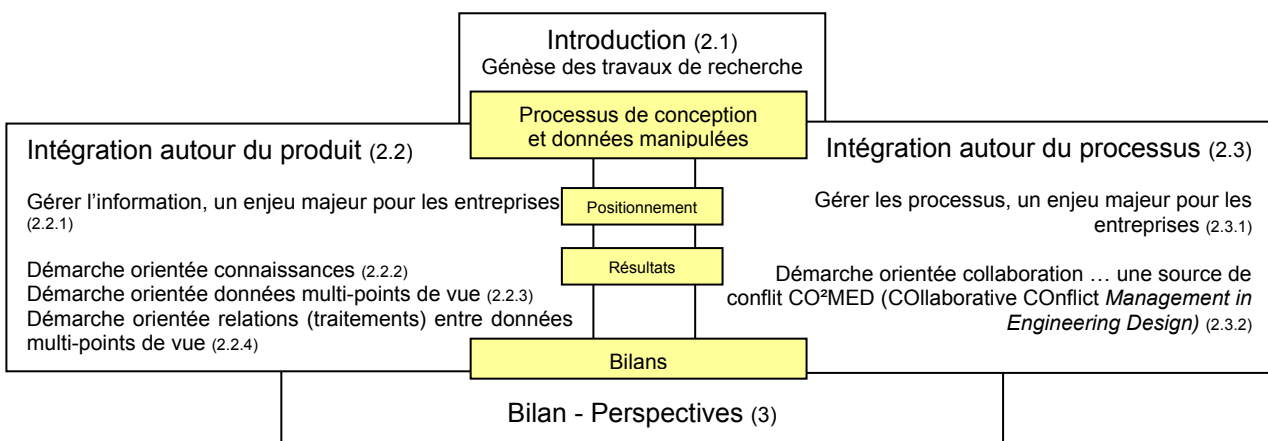
Enfin des groupes tels que *GAMA*, *GRP6* et *IS3C* du GDR-MACS permettent d'avoir une vision transverse des besoins en terme d'étude et d'approche autour du produit et du processus de conception avec une orientation métier.

Le positionnement sur ces divers groupes de travail montre bien le caractère multi-disciplinaire inhérent à notre problématique de recherche.

*L'ensemble des groupes de travail cités est défini section 1.2.9.*

De manière à guider la lecture du manuscrit, des extraits de la Figure 4 sont présentés tout au long du document en début de section de manière à positionner la thématique de recherche traitée.

De plus, chaque section est articulée autour d'un même canevas. Le tableau ci-dessous offre une vision synthétique des différentes sections.



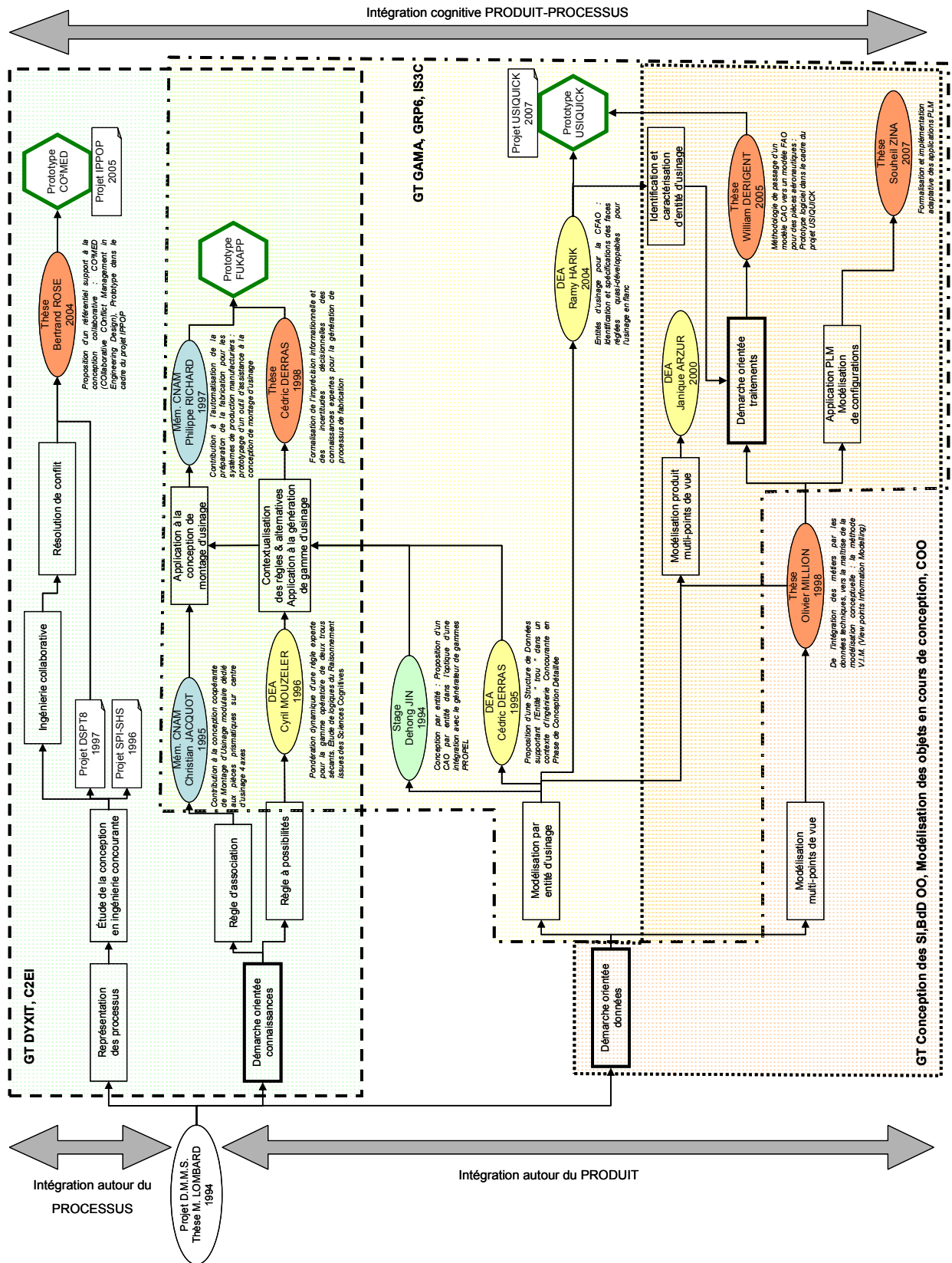


Figure 4 : Représentation informelle de l'organisation thématique des travaux de recherche et de leur développement



## 2.1 INTRODUCTION – POSITIONNEMENT DES TRAVAUX

### 2.1.1 Activité de conception

L'activité de conception en contexte industriel a pour objectif de répondre à des attentes non toujours clairement exprimées d'un client et se concrétise par la spécification d'un produit. Cette activité est fortement contrainte, parfois pleine d'antagonismes en tenant compte d'un caractère multi-sites et multi-acteurs.

Dans ce contexte, l'activité de conception est un processus complexe qu'il convient d'étudier à différents niveaux avec plusieurs points de vue. Une instrumentation uniquement informatique n'est pas une réponse satisfaisante car il convient d'étudier la problématique dans son ensemble.

Les études de l'activité de conception sont nombreuses [Perrin, 2001]. Ces études descriptives présentent un terrain de recherche extrêmement riche qui intéresse de multiples disciplines, que ce soit l'ergonomie cognitive [Darses, 1996], les sciences sociales [Jeantet, 1998], [Boujut, 2001], la mécanique [Garro, 1997], [Brissaud 1998], qui chacune sous l'angle de leur spécialité, propose des analyses diverses. Les réponses apportées, partielles et non matures concernent l'étude du processus de manière à étudier son caractère de reproductibilité sur des études de cas [Bucciarelli, 1988], [Ris, 2000]. Parallèlement, des méthodes et modèles ont été mis place en vue du développement de plateformes d'aide à la conception répondant à des besoins spécifiques sans pour autant chercher à avoir une vision globale des problèmes inhérents à ce domaine de recherche.

#### 2.1.1.1 *Processus de conception*

L'organisation du processus de conception a été depuis toujours un élément clé à maîtriser pour les entreprises. Au fil du temps, ce processus est passé d'une organisation séquentielle à une organisation où les activités tentent à être le plus parallélisées de manière à gagner du temps et donc à faire diminuer les coûts. Aussi, pour les entreprises, la maîtrise du classique triptyque coût-qualité-délais passe par la maîtrise du processus.

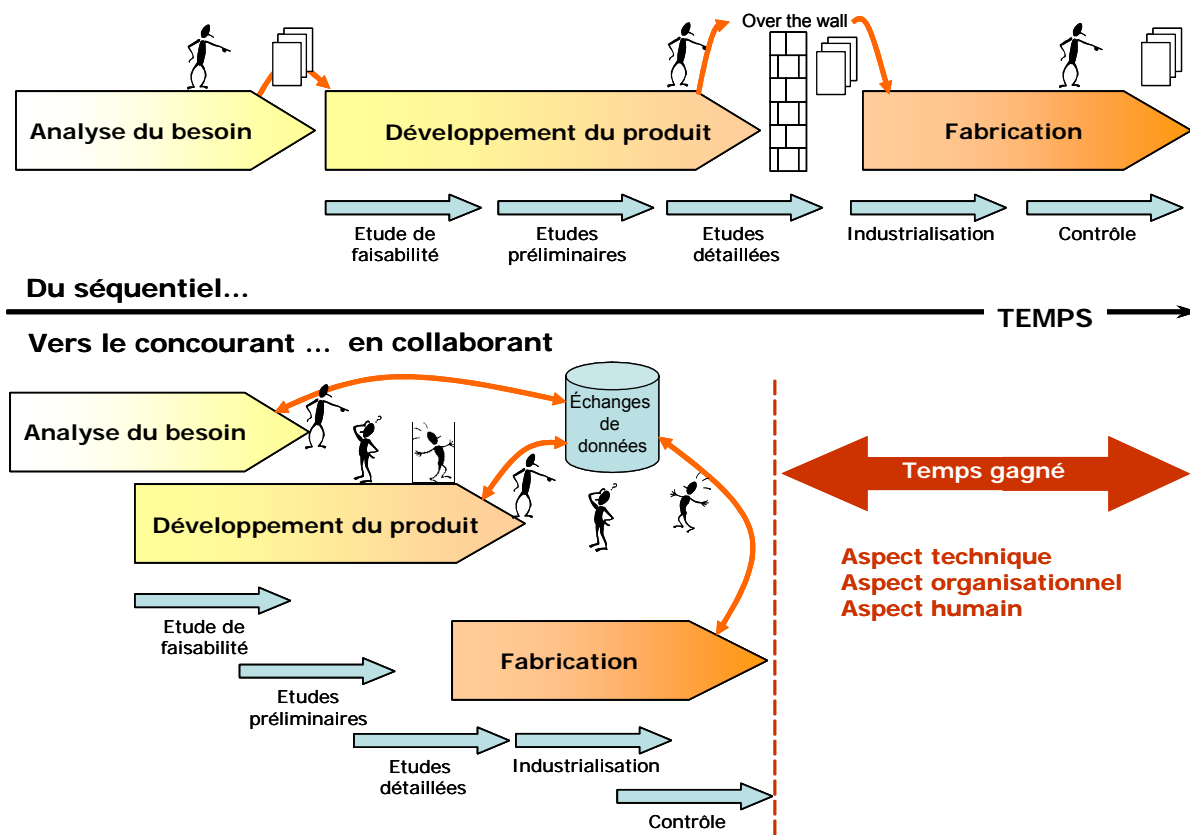


Figure 5 : De l'ingénierie séquentielle à l'ingénierie concurrente ... en collaborant inspiré de [Sohlenius, 1992]

La Figure 5 permet de comparer une organisation classique des activités d'un projet d'ingénierie avec une organisation concurrente [Sohlenius, 1992] [Prasad, 1996].

*“Concurrent engineering is a systematic approach to the integrated, concurrent design of products and their related processes, including manufacture and support. This approach is intended to cause the developers, from the outset, to consider all elements of the product life cycle from concept through disposal, including quality, cost, schedule, and user requirements”.* [Winner, 1988].

La définition proposée par [Sohlenius, 1992] met l'accent sur l'ingénierie conjointe du produit et de son procédé d'obtention : « *Concurrent Engineering is an expression for the ambition to increase the competitiveness by decreasing the lead-time and still improving quality and cost. The main methodology is to integrate the product development and the development of the design and production processes.* »

Pour [Jagou, 1993], l'ingénierie concurrente « *est une approche organisationnelle systématique tendant vers la conception simultanée et intégrée des produits et de leurs méthodes et procédés de fabrication associés ainsi que de la logistique de soutien nécessaire à l'exploitation de ces produits par leur utilisateur final* ». [Maurino, 1995] va plus loin en y précisant la constitution, dès les phases amont d'un projet, d'équipes pluridisciplinaires se reposant sur un schéma d'entreprise étendue.

Enfin, l'ingénierie concurrente a fait l'objet d'une de norme auprès de l'AFNOR sous l'appellation « *ingénierie intégrée* » avec la définition suivante : « l'ingénierie intégrée est une approche qui permet une conception intégrée et simultanée des produits et de processus liés à ces derniers, y compris la production et le soutien. Elle est destinée à permettre aux développeurs de prendre en compte dès l'origine toutes les phases du cycle de vie du produit depuis sa conception jusqu'à son retrait, y compris la qualité, les coûts, les délais et les exigences des utilisateurs » (NFX 50415).

De plus, en regard de nos travaux, nous mettons en avant le caractère collaboratif du processus de conception. Il est établi que les différents acteurs d'un projet se regroupent dans le but d'améliorer l'efficacité globale du groupe : le travail collectif est un moyen de surclasser les performances réalisées individuellement : **la somme des résultats du groupe est supérieure à la somme des résultats individuels que chaque acteur aurait pu obtenir individuellement** (Équation 1), [Barnard, 1938], [Shea, 1987], et les interactions permanentes permettent ainsi de dépasser les limites du travail individuel [Simon, 1991].

$$W_g \geq \sum_{i=1}^N W_i$$

avec

- $W_g$  le résultat des travaux du groupe,
- $W_i$  les travail de chaque acteur du groupe comprenant N personnes.

*Équation 1 : Travaux individuels et travaux du groupe*

Ce qui caractérise ce nouveau mode d'organisation des processus implique une parallélisation des tâches et nécessite de maîtriser l'information échangée. Il ne s'agit plus de faire circuler une information d'une étape à une autre, en séquentiel, selon une logique de développement de produit, mais bien de mettre à disposition des différents acteurs du cycle de vie du produit les informations, parfois incomplètes voire non matures permettant de favoriser une prise de décision commune autour du même objet de conception. Ce bouleversement informationnel a permis de modifier l'acronyme CIM décliné initialement en **Computer Integrated Manufacturing** vers une déclinaison en **Corporate Information Management**. En effet, la nécessité de prendre en compte la gestion des connaissances expertes plutôt que de prendre en compte la communication syntaxique des données, donne à l'heure actuelle une nouvelle dimension centrée métier en prônant une communication sémantique des informations. Cette déclinaison se retrouve désormais autour du **Corporate PLM** [Batenburg, 2005].

Durant ce processus, une multitude d'objets tant informationnels que physiques sont manipulés pour concourir à la conception/réalisation d'un produit.

Il est fait état ici uniquement que de l'aspect historique de la mutation entreprise autour de l'organisation du processus de conception. Ainsi ce premier point nous permet d'envisager l'aspect statique autour de la définition des différents objets et artefacts manipulés. Cette partie fait l'objet de la section 2.2.

Enfin, la section 2.3 reprend l'étude plus avant du processus de conception dans un cadre organisationnel en se positionnant par rapport aux travaux des sociologues et sciences pour l'ingénierie par exemple. Ces travaux portent entre autre sur l'aide à apporter en terme de définition de référentiel pour guider, tracer et gérer le processus. Ainsi, c'est l'aspect dynamique qui y est traité.

### 2.1.1.2 Objets manipulés

Pour travailler conjointement sur un projet, « *tout le monde doit avoir une seule et même représentation des produits, donc les mêmes données, et cette représentation doit pouvoir supporter toutes sortes de modifications* » [MICAD, 1993]. Cette vision est toujours d'actualité et bien que tournée produit elle est centrée mono-représentation alors qu'il s'agit de prendre en considération le contexte et le regard de l'expert du métier considéré dans la modélisation. La problématique sous-jacente est plus du domaine des échanges d'informations toujours traités principalement via des standards métiers au travers de modèles de référence tels que ceux définis par la norme STEP voire de méta-modèles [Bon-Bierrel, 1998]. Nous pensons qu'une étude sémantique des informations est préférable à une traduction syntaxique. Une première expérience a été menée dans le cadre du développement de la maquette informatique support du projet D.M.M.S (section 2.1.2).

Dans la pratique, plusieurs types d'objets sont manipulés :

- les objets informationnels, représentant des vues complètes ou partielles d'objets physiques,
- les objets informationnels, représentant des vues complètes ou partielles d'objets intermédiaires [Mer, 1998],
- les objets physiques, représentant tout ou partie de l'objet à concevoir.

et ce avec différents niveaux de détails selon le métier. La mise à disposition des données caractérisant ces différents objets est primordiale au sein d'un processus concourant. [Derras, 1995] illustre au travers d'un scénario d'ingénierie concourante les différentes données échangées entre les métiers et met en évidence l'impact de certain métier sur la conception même du produit.

Cette préoccupation de la modélisation des données relatives à l'objet de conception fait l'objet de propositions à la section 2.2.3 et de perspectives de recherche à la section 3.

Aussi, je décris dans ce qui suit mes travaux de thèse, puis fort de cette expérience, je développe des travaux sur les aspects produit et processus que nous avons encadré, en regard de la modélisation des données à échanger.

### 2.1.2 **Projet D.M.M.S. (Design Management and Manufacturing System)** [Lombard, 1994]

Dans ce contexte, prenant en compte les dimensions d'ingénierie concourante et de sémantique des données à partager, mes travaux de thèse ont portés sur la définition d'un référentiel commun pour les différents métiers concernés par un Système de Production, en réduisant ce domaine aux fonctions de Gestion Technique, de Conception et d'Exploitation pour les métiers de l'Automatique et de la Mécanique. L'architecture D.M.M.S. (*Design Management and Manufacturing System*) proposée Figure 6 permet à chaque pôle de disposer de son propre référentiel métier en relation avec les autres via le poste de gestion de données techniques.

La modélisation de cette architecture nécessite la mise en œuvre d'environnements intégrés de production. Dans cet optique, l'implémentation de cette architecture a été réalisée en expérimentant le standard P.C.T.E. (*Portable Common Tool Environment*), comme plateforme d'intégration pour le Génie Productique. En parallèle à mes travaux et sur ce dernier point, une thèse en informatique [Bounab, 1994] a porté sur l'étude d'une approche fédérée pour la coopération d'outils manipulant des données hétérogènes en regard des facilités fournies par P.C.T.E.

Enfin, la modélisation proposée dans ces travaux tient compte de la complexité des systèmes de production due principalement à la distribution de la connaissance, tout au long du cycle de vie du produit. Pour ce faire, mon travail a consisté à proposer, à l'aide d'un modèle de référence d'un système productique qui s'appuie sur le génie systémique, une méthodologie systémique permettant d'appréhender la complexité et la concourance des systèmes considérés.

### 2.1.2.1 Architecture d'ingénierie concourante

L'architecture D.M.M.S. (*Design Management and Manufacturing System*) développée a permis de proposer un moyen de rétablir le lien sémantique entre les différentes activités du processus global de fabrication, à savoir *Design* ou conception (mécanique/automatique), *Manufacturing* ou exploitation (maintenance/fabrication) et *Management* ou gestion technique comme l'administrateur des relations inter et intra fonctions (Figure 6). Dans cette architecture deux types d'échanges sont identifiés :

- les relations intra-métier qui correspondent à des échanges d'informations propres à un métier via un référentiel métier au sens large, comme par exemple BASE-PTA pour le poste de l'automaticien, ou STEP pour le poste de travail du mécanicien,
- les relations inter-métiers qui correspondent à des échanges d'informations entre des métiers différents via un référentiel commun. Ce référentiel s'attache plus particulièrement à des modifications sémantiques des informations à échanger.

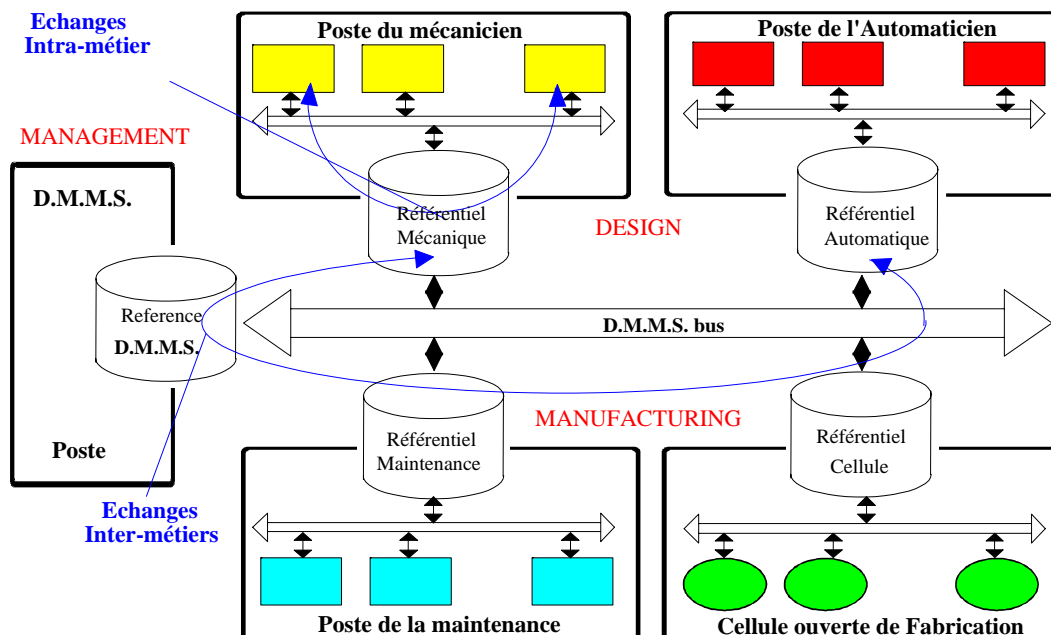


Figure 6 : Architecture D.M.M.S. [Lombard, 1994]

### 2.1.2.2 Modélisation du processus D.M.M.S.

Le référentiel informatique proposé a donc pour objectif de relier le travail de différents acteurs dans un contexte manufacturier. Pour guider leur travail dans un contexte d'ingénierie concourante, une méthodologie basée sur un modèle de référence systémique d'un système productique, immergé dans un référentiel *Temps-Espace-Forme* [Le Moigne, 1990], a été mise en place pour tracer le processus de conception/réalisation du produit qu'ils réalisent.

La mise en évidence de la fonction « *CONTROLLER* » au sens de l'automatisation du processus de transformation de produit induit l'opérateur de *Nature* (Figure 7) au sens de [Le Gallou, 1992] permettant de « *relier pour coordonner* », c'est-à-dire de relier des sous-systèmes élémentaires ou réseaux d'interconnexions formant une nouvelle unité. Cet opérateur de *Nature* correspond à une transmutation sémantique des flux considérés au sein d'un système automatisé de conception/réalisation de produit. Il convient donc d'étudier conjointement l'ensemble des activités du système physique (TRANSFORMER) et l'ensemble des activités du système informationnel (CONTROLLER).

De plus, les flux définis sur la Figure 7 permettent de guider une modélisation de type SADT en mettant en regard les activités informationnelles pré-requises pour la réalisation des activités physiques.

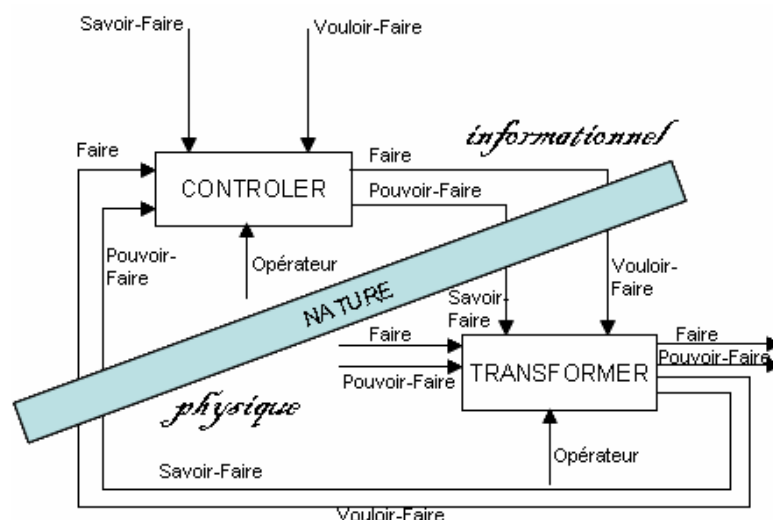


Figure 7 : Définition des flux sur le couple opérant/pilote

Il convient de respecter des règles de modélisation portant sur :

- la typologie des flux en « **faire** », « **pouvoir-faire** », « **savoir-faire** » et « **vouloir-faire** » illustrée Figure 8 présente la démarche progressive que le modélisateur doit appliquer pour définir la fonction **TRANSFORMER**. Pour cela il répond à la question « QUE fait le système ? » en explicitant l'objectif, la mission ou la finalité du système de transformation par la description d'un flux « **faire** » extrant (flux matière) à l'aide d'un opérateur « **dépendant** » (site de transformation) auquel il est nécessaire d'adjoindre des ressources ou énergies pour que cet opérateur devienne actif par rapport au système de transformation ①. Suivant une logique combinatoire : un flux sortant est obtenu par la combinaison de flux entrant(s) et d'un comportement interne, ② présente réellement le processus de transformation en faisant apparaître à ce niveau le flux « **faire** » entrant qui subira l'opération de transformation. Celle-ci ne saurait avoir lieu sans un certain « **savoir-faire** » ③ permettant l'ordonnancement des différents sous-processus de transformation (une gamme de fabrication par exemple). De manière à rendre actif l'opérateur « **dépendant** », il convient de lui adjoindre un flux « **pouvoir-faire** » ④ décrivant les ressources à utiliser ainsi que les énergies nécessaires. Après utilisation, ce même flux est restitué par le système diminué des caractéristiques propres à son utilisation (usure outil par exemple) ⑤. Enfin, les décisions de transformation sont, quant à elles, représentées par un flux « **vouloir-faire** » provenant d'un niveau supérieur de coordination ⑥. Cette étude a été poursuivie et a fait l'objet d'une modélisation NIAM du contexte systémique appliqué à l'Ingénierie Pédagogique [Mayer, 1995].
- la décomposition des activités au niveau informationnel et au niveau physique dans un espace **Forme/Espace/Temps** suit des règles d'alternance, de décomposition et de regroupement illustrées Figure 9. En effet, alors que les activités telles que la C.A.O. ou la génération de gamme d'usinage ne s'attachent qu'à l'étude de la **Forme** correspondant à la fonction « **transformer** », il est nécessaire de compléter le schéma d'organisation par la prise en compte de files d'attente par exemple correspondant à l'étude du **Temps** et par la prise en compte des déplacements entre les différentes positions du produit correspondant à l'étude de l'**Espace**. Fort de cette règle d'alternance, il est donc possible d'effectuer le modèle fonctionnel d'un poste de travail. Ce modèle idéal doit être projeté ensuite sur une organisation et il peut s'en suivre des regroupements. A titre d'exemple, citons :
  - un atelier où le déplacement du produit se fait sur des chariots mobiles, dans ce cas le **Temps** et l'**Espace** sont confondus,
  - un robot qui vient chercher directement la pièce dans le montage d'usinage de la machine, dans ce cas la fonction de **Temps** prévue initialement hors du site de transformation correspond à la dernière opération effectuée sur ce site (cf

décomposition de la fonction « transformer » sur la Figure 9 : Principe d'organisation des activités dans un espace Forme/Espace/Temps ... et ne subsiste que la fonction principale d'**Espace**.

Cette règle d'alternance est identique pour le niveau informationnel, où il s'agit de « transformer » de l'information à l'aide de programmes informatiques, « transporter » de l'information à l'aide des réseaux locaux et « stocker » de l'information dans des bases de données.

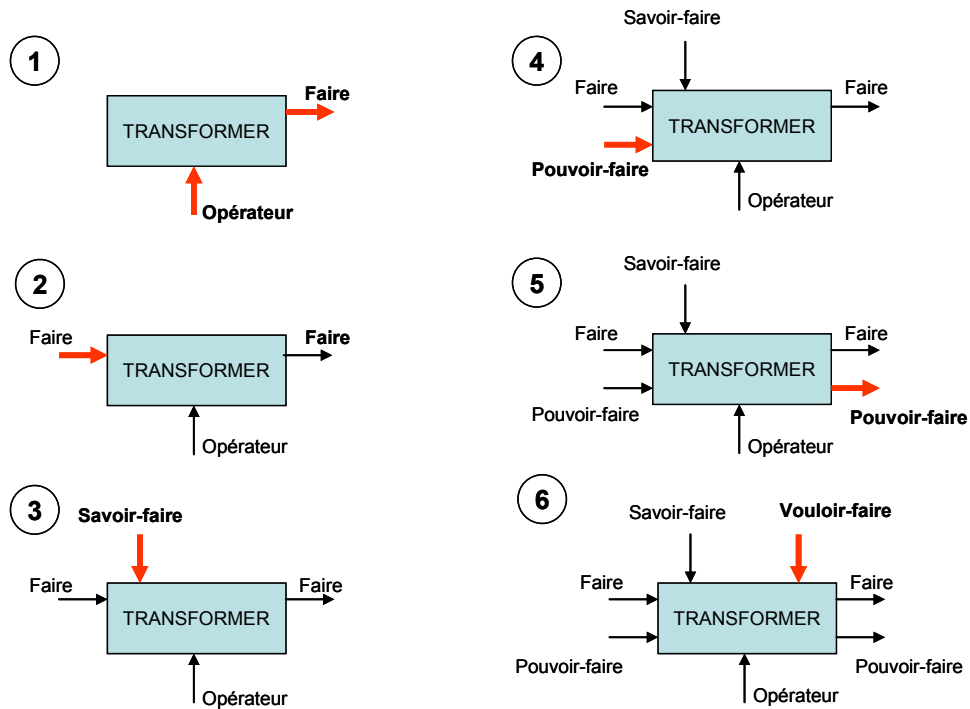


Figure 8 : Etapes successives d'une modélisation systémique

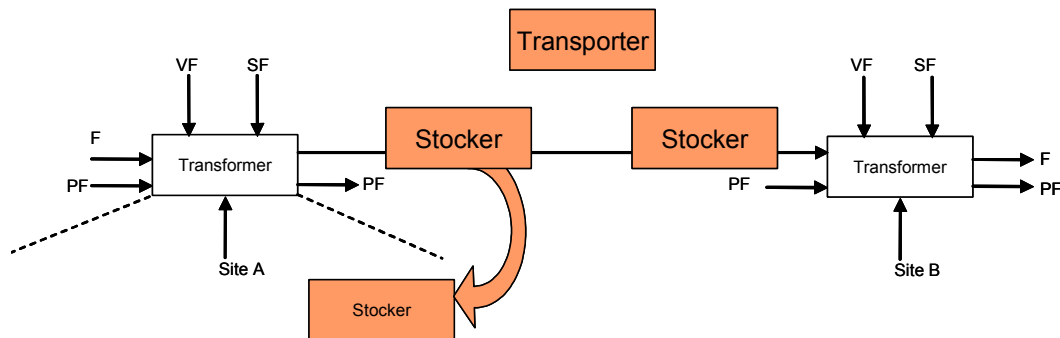


Figure 9 : Principe d'organisation des activités dans un espace Forme/Espace/Temps

2.1.2.3 Implémentation du référentiel D.M.M.S.

L'implémentation de l'architecture D.M.M.S.a été réduite à un outil par référentiel comme illustré à la Figure 10. Cette réduction avait pour but de limiter l'implémentation. Les outils choisis avaient une couverture significative de la sémantique des informations manipulées au niveau intra-métier. Cette implémentation avait pour unique but de mettre en évidence les échanges inter-métiers en mettant l'accent sur les points névralgiques issus de l'organisation en ingénierie concurrente et de mettre en place pour cela un réel référentiel sémantique permettant les différents échanges nécessaires par l'étude, au préalable, de la sémantique échangée.

D.M.M.S.		Design		Management	Manufacturing	
		PROPEL <sup>(1)</sup>	SPEX <sup>(2)</sup>	Poste D.M.M.S.	Maintenance DIAGNEX <sup>(3)</sup>	Fabrication (Outils)
Niveau d'abstraction						
Conceptuel	Méta-modélisation	E/A étendu – basé sur P.C.T.E. <sup>(4)</sup>				
Organisationnel		P.C.T.E. <sup>(4)</sup>				
Logique	Modélisation	P.C.T.E. <sup>(4)</sup>		P.C.T.E. <sup>(4)</sup>	Relationnel	
Physique		Emeraude V12 <sup>(5)</sup>		Emeraude V12 <sup>(5)</sup>	Oracle	

- (1) PROPEL : Logiciel de génération automatique de gammes d'usinages  
(2) SPEX (SPécifications EXécutables) : Environnement de conception de Partie Commande  
(3) DIAGNEX : Outil de développement d systèmes experts destinés à la réalisation d'application d'aide au diagnostic  
(4) P.C.T.E. : Portable Common Tool Environment  
(5) Emeraude : Atelier de Génie Logiciel support du standard P.C.T.E.

Figure 10 : Architecture D.M.M.S. réduite pour son implémentation

Les principaux besoins en gestion d'objets des environnements de Génie Productique sont assimilables à ceux rencontrés en Génie Logiciel à l'époque de ces travaux. Ils sont listés ci-après. Il est intéressant de remarquer combien certains points ne sont pas encore totalement résolus.

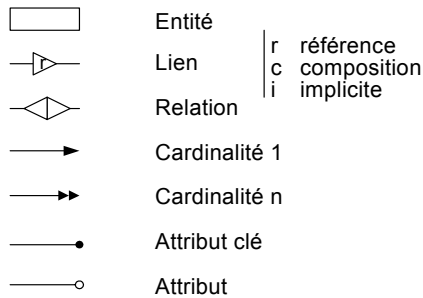
1. **Evolution dynamique du schéma** : l'évolution du schéma, la création de nouveaux types d'objets et l'extension de types existants sans arrêter l'exploitation de la base d'objets,
2. **Distribution de la base d'objets** : la distribution, transparente pour les applications, des objets et même de parties d'objets sur une architecture matérielle basée sur des réseaux locaux de poste de travail,
3. **Gestion des objets complexes** : la gestion des objets complexes, c'est-à-dire de données de grande taille ayant une sémantique riche, une structure complexe et éventuellement des composants incomplets, partagés, ...
4. **Gestion des versions** : la gestion des versions multiples d'objets et la création de configuration ayant au plus une version de chaque objet,
5. **Mise en application de contraintes sémantiques** : l'expression et la mise en application de contraintes sémantiques complexes permettant des réactions flexibles et la propagation automatique de changements dans la base d'objets,
6. **Prise en compte d'événements et déclenchements d'actions** : la prise en compte automatique d'événements et le déclenchement automatique d'actions définies par l'utilisateur, permettant ainsi aux objets de prendre des initiatives et de réagir aux événements en fonction de leur type et de leur contexte.

Après avoir identifié tous ces points et puisque notre critère en terme d'implémentation imposait de travailler avec un standard éprouvé, la partie implémentation a été étudiée et réalisée conjointement avec Malek BOUNAB [Malek, 1994] doctorant au CRIN (Centre de Recherche en Informatique de Nancy - LORIA Nancy) à l'aide du standard P.C.T.E. (*Portable Common Tool Environment*) plateforme normalisée pour la construction d'environnements intégrés de production de logiciels.

A noter, le modèle OMS (Object Management System) de P.C.T.E. qui fournit une collection d'objets/rerelations/attributs permettant la modélisation des objets en Génie Logiciel ainsi que le stockage des instances. C'est à partir de ce modèle, en important des objets déjà définis, que l'on construit les modèles nécessaires pour l'intégration des outils logiciels. Le concept d'objets importés permet de naviguer d'un schéma SDS (Schema Definition Set) ou sous-modèle à un autre. Il représente en quelque sorte un « pont » entre différentes vues métiers. Cette notion est développée dans la section 2.2.3.

Le modèle d'objet de P.C.T.E. fournit les fonctions nécessaires à la manipulation des objets de l'environnement informatique. C'est un modèle entité-association étendu par la relation de sous-

typage, il est « *object-based* », c'est-à-dire qu'il intègre les concepts d'identité d'objet et d'héritage mais pas celui de type abstrait de données. Il s'inspire des modèles « *object-oriented* » en permettant la définition de classes d'objets, d'instances de classes et par la prise en charge de l'héritage simple des attributs. Ses composants sont :



Composants de base du modèle d'objets de P.C.T.E.

- **Les types d'entités ou classes d'objets.** C'est la définition structurelle des types d'objets. Un objet est défini par son père, son identité et un ensemble d'attributs.
- **Les types d'attributs.** Ils caractérisent les propriétés d'un type d'objet ou d'un type de lien. Un attribut peut être de type *entier*, *chaîne de caractères*, *booléen* ou *date*.
- **Les types de liens.** L'accès aux objets se fait par la navigation via les liens dans le schéma. Les liens permettent de mettre en relation deux objets et sont de cardinalité '1' ou 'plusieurs' et sont de catégorie 'composition', 'référence' ou 'implicite'. Lorsqu'un lien est de cardinalité 'plusieurs', un 'attribut clé' est nécessaire afin de distinguer les différentes instances référencées par ce lien.

Les différents modèles proposés, correspondant aux référentiels métiers, sont issus d'une démarche de *Reverse Engineering*. Le poste assurant la Gestion Technique ou *Management* de la concurrence a été réalisé en utilisant largement le mécanisme d'importation des objets et des liens entre objets proposé par l'atelier de génie logiciel EMERAUDE. Par contre, le problème d'accès aux objets techniques relève d'un traitement simultané, EMERAUDE ne nous a permis d'implémenter, pour la maquette D.M.M.S., qu'un scénario coopérant coordonné des différents postes de travail.

Nous détaillons Figure 11 le modèle des outils coupants SANDVIK implanté dans la **Cellule Ouverte de Fabrication** de l'architecture D.M.M.S. L'analyse critique de ce modèle a été le point de départ des travaux de thèse d'Olivier MILLION [Million, 1998], exposés à la section 2.2.3.

Cette application correspond au stockage des informations relatives à un outil de coupe monté, objet composite, dans un porte-outil muni d'un porte-code SANDVIK placé sur celui-ci. La Base de Données de la **Cellule Ouverte de Fabrication** contient l'ensemble des composants 'libres ou non utilisés' ainsi que les outils montés en magasin et les outils montés dans le centre d'usinage.

Ce modèle fait apparaître au moins deux utilisations :

- **La gestion des données techniques.** La gestion des données techniques correspond à la couche d'instanciation des objets « *adaptateurs* », « *pinces* », « *cônes\_fix* », « *outils* », « *boutons\_retention* », « *extensions* » dans la base (couche supérieure du modèle en vert),
- **L'utilisation des données in situ.** La constitution d'un outil d'usinage se fait en parcourant les relations dans le modèle et donc en assemblant les objets correspondant (relation unaire, couche inférieure du modèle en bleu). Les traitements mis en place permettent de décrire des outils intégrés VARILOCK, des outils modulaires SANDVIK ou des outils à cônes monoblocs COROMANT.

Le modèle d'outils implanté dans le **Poste du Mécanicien** du D.M.M.S. fait apparaître une taxinomie des ressources de l'Atelier composée de celle de « *machine* » et « *outil* ».

Pour les échanges inter-métiers, seul l'objet « *outil* » (entouré de rouge) a été importé, au sens P.C.T.E., dans le poste de Gestion Technique. Il apparaît donc un problème sémantique à savoir qu'il est possible que deux postes de travail détiennent des taxinomies différentes pour la gestion des outils coupants, puisque ces parties de modèles ne sont pas fédérées.

A noter que les utilisations déduites de la Figure 11 proviennent d'une étude *a posteriori* du modèle et ne mettent pas en évidence clairement les notions de métiers, d'activités ou même encore de points de vue.



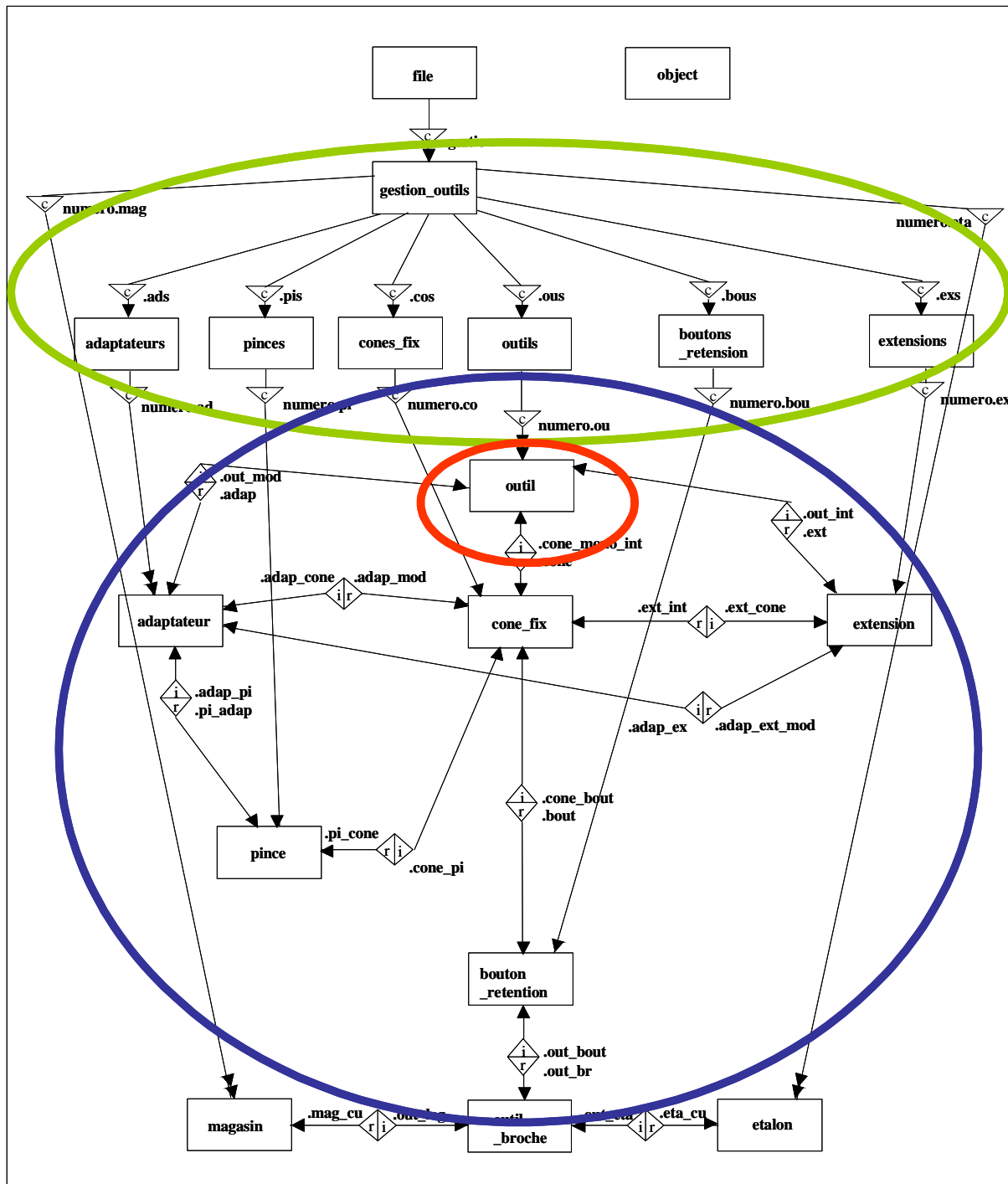


Figure 11 : Gestion des outils modulaires SANDVIK pour centre d'usinage

2.1.2.4 Conclusion du projet D.M.M.S.

Les conclusions du projet D.M.M.S. portent sur :

- **Un travail en collaboration** avec le CRIN (LORIA Nancy) récompensé par la Bourse Innovation CLEMESY apportant une contribution aux concepts de micro-intégration au niveau des postes et macro-intégration au niveau des échanges sémantiques entre acteurs,
- **Une démarche systémique alliée à une logique temporelle** (présentée et enrichie par [Derras, 1998] section 2.2.2) permettant de considérer les parties statique et dynamique de la mise en place d'une décomposition fonctionnelle modélisant les différents apports de Savoir-Faire utilisateurs dont l'objectif global est la production de produit manufacturier,

- **L'insuffisance d'une intégration a posteriori**, par une démarche synchronique de méta-modélisation, bien que disposant d'une plate-forme normalisée P.C.T.E. issue des recherches en Génie Logiciel,
- **La nécessité d'encapsuler plus de sémantique inter-métiers** pour la gestion de la cohérence des informations produites par chacun des postes métiers.

Et de conclure ce travail par le fait que l'étude des Systèmes doit se faire au travers de méthodes et à l'aide de méthodologies fournissant ainsi des moyens spécifiques permettant d'avoir une vision globale d'une part à partir de laquelle il est possible, en regard d'un métier, de se focaliser sur un domaine d'application en mettant l'accent plus sur le « *Quoi* » des systèmes plutôt que sur le « *Comment* ». Pour cela, il convient de fournir aux concepteurs la possibilité de « *systématiser* » leur démarche de conception en lui permettant de s'attacher à toutes les activités de « *la vie d'un système, de son installation à son exploitation ... et à son démantèlement* [Lhoste, 1994] ».

### 2.1.3 Synthèse – Problématique de recherche en ingénierie collaborative

Dans des processus aussi complexes que ceux de la conception de produit, les acteurs ont constamment le besoin de faire converger leurs représentations incomplètes de l'objet à concevoir, de trouver un compromis entre leurs logiques partielles afin de pouvoir '*sortir*' le produit [Boboc, 2002]. Ce processus est générateur de nouveaux savoirs issus des relations intra et inter-métiers permettant à chacun d'apporter au collectif des solutions au problème de conception de façon innovante, pertinente et cohérente. Cet enjeu est corrélé avec des perspectives de génération d'innovations [Campagne, 2002]. A souligner toutefois, qu'à la différence des processus de production, les processus de conception ne peuvent se satisfaire d'une trop forte structuration, celle-ci pouvant se révéler être globalement un frein.

Ce processus nécessite des mécanismes de synchronisation tant au niveau des modèles et de leur représentation que des connaissances échangées. [Falzon, 1994] parle de « *synchronisation cognitive* ». Dans ce contexte, le projet D.M.M.S. a proposé une solution pour gérer informatiquement des relations inter-métiers via un référentiel stable. A l'instar de [Boboc, 2002], nous considérons toute fois que ce référentiel doit reposer sur un modèle formalisé mais parfois considéré comme « *éphémère* » et « *transitoire* » en tous les cas « *évolutif* ». Le véritable manque actuel en situation d'ingénierie collaborative est qu'il n'existe aujourd'hui aucun référentiel commun pour formaliser les relations inter-métiers. Cet « *espace d'intersubjectivité* » [Zarifian, 1996], à l'intérieur duquel les stratégies identitaires devront s'ajuster en direction d'un projet de connaissance commun, n'est pas aujourd'hui défini [Rose, 2002].

De plus, la collaboration se révèle en outre un tournant incontestable en considérant les nouveaux enjeux de la conception ; à savoir la prise en compte globale du cycle de vie du produit en parallèle avec la prise en compte des différents points de vue des acteurs de la conception intervenant successivement au cours du cycle de vie du produit [Poveda, 2001].

En effet, le point de vue d'un expert agissant dans un domaine donné auquel est rattaché la conception du produit est un regard spécifique d'un expert en fonction de sa connaissance, des contraintes du domaine et de la projection des objectifs à atteindre pour le produit en fonction du domaine particulier en question.

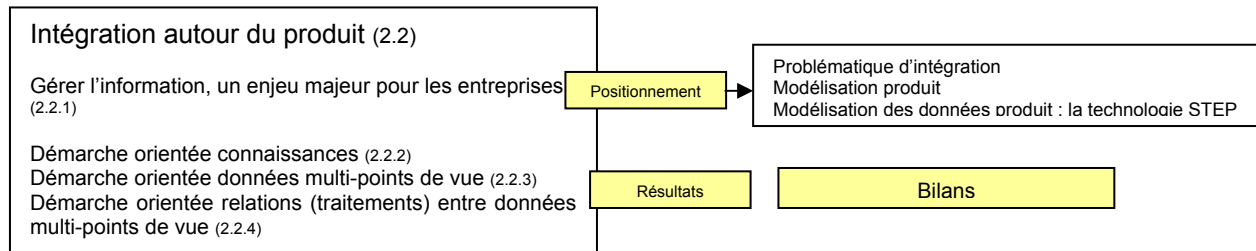
Cependant, le point de vue est influencé par l'expert lui-même mais également par le contexte et l'environnement dans lequel l'acteur est plongé. Les notions de multi-expertise et multi-point de vue sont intimement liées [Dieng, 2001]. Ainsi, il est absolument nécessaire de prendre en compte la notion de **contexte** (section 2.2.2) et de **point de vue** (largement définie dans [Million 1998], [Darses, 1997], [Tehari, 1999] et à la section 2.2.3.) dès lors qu'il s'agit de vouloir mettre en place des supports d'informations comme vecteur de collaboration. Ces deux notions ont guidé mes travaux en me focalisant plus particulièrement sur la modélisation du produit et des Savoir-Faire ainsi que de son processus limité aux phases de conception et post-conception.

Liste de mes principales publications : [A. 14], [A. 15], [A. 16], [A. 17], [A. 18], [B. 7], [C. 32], [C. 33]
---

## 2.2 INTEGRATION AUTOUR DU PRODUIT

Il apparaît que seule la **modélisation** peut, sans la mutiler, offrir une prise convenable sur la **complexité** [Le Moigne, 1977] car elle permet d'intégrer des **connaissances fragmentaires** apportées par des hommes de métier dans la construction d'une **connaissance globale commune**.

L'intégration par les données consiste à gérer et à distribuer les données communes entre les activités de l'entreprise tout en respectant l'intégrité de ces données. Cette intégration implique que les données soient représentées par un modèle de données le plus indépendamment possible du niveau physique car il représente l'aboutissement du processus d'ingénierie des besoins ou d'analyse. L'ingénierie des besoins représente le passage entre les connaissances du monde réel à modéliser et les connaissances du monde informatique pour les implanter.



Après avoir positionné la problématique d'intégration de données et connaissances autour du produit, différents travaux sont présentés autour d'approches orientées :

- connaissances à formaliser en phase de post-conception (2.2.2),
- données multi-points de vue manipulées par différentes expertises tout au long du cycle de vie (2.2.3),
- traitements permettant la transformation de modèle entre deux activités du cycle de vie du produit, en phase de conception et post-conception (2.2.4).

### 2.2.1 Gérer l'information, un enjeu majeur pour les entreprises

Le besoin des entreprises, s'occupant de conception et de fabrication de produits industriels, réside dans la maîtrise de l'archivage à long terme et de l'échange inter-applications des données techniques qui constituent la nouvelle représentation de leur savoir-faire, via la cohérence globale de leur système d'information. Ce besoin est issu du travail en ingénierie concourante prônant de nouvelles organisations et méthodes de travail et induisant une multiplication des systèmes d'informations au sein de l'entreprise. Il s'agit donc pour un utilisateur de disposer des données au bon endroit et au bon moment, alors que tout concourt à l'hétérogénéité des systèmes d'informations et à l'incompatibilité des modèles de données. La diversité des systèmes, qui recouvre la diversité des besoins élémentaires et leur manque de pérennité, rend à la fois la capitalisation des données difficile (leur durée de vie ne dépasse guère celle du système ayant permis de les générer) et leur échange entre systèmes hétérogènes illusoire (beaucoup du contenu informationnel étant perdu).

#### 2.2.1.1 Problématique d'intégration

L'objectif visé par l'intégration de données est de pouvoir partager les données nécessaires à l'ensemble des applications informatiques utilisées dans un processus industriel sans recopies ou transformations manuelles de celles-ci afin de fluidifier les flux d'informations tout en garantissant la fiabilité et la traçabilité des données, dans un souci de cohérence et de qualité. Il est aussi de pouvoir interconnecter les processus des organisations qui travaillent ensemble de manière efficace. Il est enfin de supporter les nouvelles méthodes de travail et les nouveaux modes d'organisation

La nécessité d'échange et de partage fait apparaître différents types d'intégration en regard des possibilités technologiques existantes (intégration de plate-forme, de données, par les interfaces, des méthodes, de la présentation ...). Nous retenons :

- **L'intégration au niveau des données** : souvent point de départ pour l'intégration des applications, elle permet l'accès à des données partagées par diverses applications et elle permet aux données de circuler entre divers systèmes de stockage.

Il faut croiser ce concept d'intégration issu du génie logiciel à celui largement prôné en productique par [Morel, 1992] et définit dans un cadre de coopération entre différents acteurs métiers par [Brissaud, 1997] comme apportant une solution :

- *Coopérer impose d'abord de reconnaître la spécificité et les compétences de chacun comme une richesse de points de vue. Il faut faire vivre les différences et non pas les gommer : la notion de vues [...] doit le permettre. On ne peut, en effet, se contenter d'un mécanisme de communication entre acteurs permettant d'échanger des données par un langage intermédiaire de type format neutre qui nie les spécificités.*
- *Coopérer impose un devoir d'entraide pour la définition d'une solution. Chacun doit ainsi contribuer au plus tôt à la spécification du problème pour que soit proposée, dès le premier jet, une solution acceptable. Les mécanismes à mettre en place doivent permettre l'enrichissement de la solution courante par la prise en compte des capacités des métiers.*

Aussi les techniques classiques prônées par le génie logiciel [Bounab, 1994] ne sont-elles pas adaptées en regard des exigences énoncées.

L'intégration des données s'est faite au travers de modèle produit. Aussi, nous présentons brièvement dans ce qui suit quelques travaux français illustrant la spécificité mais aussi la multitude des modèles produit. A noter que tous ces modèles ont pour objet commun le concept « *d'entité* » qui représente l'objet sémantique de référence autour duquel il est possible d'intégrer pour mieux communiquer.

Enfin, nous détaillons l'approche STEP et nous développons section 2.2.4 des extensions aux modèles normatifs proposés en regard des algorithmes mis en place dans le projet USIQUICK en appliquant la démarche de modélisation multi-points de vue développée par Olivier Million [Million, 1998] et détaillée section 2.2.3.

#### 2.2.1.2 *Modélisation de produit*

A l'instar de l'objectif de [Mony, 1992], la modélisation de produit permet « *d'avoir un modèle de représentation s'inscrivant dans une approche globale de l'ingénierie des systèmes mécaniques, en vue d'une intégration par les données des informations produits établies durant la conception détaillée, et qui intègre toutes les informations nécessaires à la définition du produit* ». Le **modèle d'aide à la conception** qu'il propose est basé sur l'entité (feature), la structure fonctionnelle et la structure physique. Le produit est ainsi décrit à l'aide de formes fonctionnelles et de formes de liaisons mises en œuvre à l'aide d'entités technologiques permettant de prendre en compte par exemple les contraintes d'obtention de brut. Dans ce sens, les travaux de [Mawussi, 1995], appliqués à la définition des **modèles de produit, de pièce brute et d'outillage pour la forge** utilisent des entités complexes permettant de représenter les formes de définition d'un outillage correspondant à l'habillage des formes fonctionnelles et de liaison au sens de [Mony, 1992].

**Les modèles de produits** initiés entre autre par le laboratoire 3S de Grenoble sont **orientés fabrication/réalisation**, où l'intérêt est porté sur la forme de l'objet et ses tolérances en regard des différents métiers intervenants. Entre autre, [Belloy, 1994] propose un modèle de produit destiné à intégrer différents savoir-faire de forge et d'usinage pour que ces connaissances puissent être utilisées au plus tôt dans le processus d'ingénierie. Il propose une communication inter-métiers facilitée grâce à la notion sémantique d'« *ossature* » composée des concepts « *peau* » et « *squelette* ». Basé sur ces travaux, [Chapa, 1997] propose un modèle multi-vues orienté métier composé d'une vue géométrique et d'une vue ossature servant de pivot de communication pour les différents métiers. Dans le modèle, les vues, composées d'entités orientées métier, et les fonctionnalités, réalisées par les entités choisies pour satisfaire la fonction, sont situées à différents niveaux. Les entités sont définies comme « *unités sémantiques qui traduisent la manière dont la discipline, ou un métier, segmente l'univers du perceptible du concevable. Elles sont par ce fait matérialisation d'une certaine connaissance de la part de cette discipline.* » La particularité de ces approches est de favoriser l'intervention des connaissances métiers sur un produit dont la description est encore parcellaire et incomplète.

Les modèles de produits initiés également par le laboratoire LURPA (ENS Cachan) sont plus axés définition du **modèle produit en phase de pré-fabrication et fabrication**. Ainsi, il est intéressant de se référer aux travaux de [Villeneuve, 1990], [Chep, 1992] pour la définition d'entités d'usinages particulières, [Sabourin, 1995] pour l'implémentation d'un système expert dédié à un type de production. D'un point de vue chronologique, ces travaux ont été réalisés conjointement aux avancées du groupe GAMA et il est à noter des travaux similaires au laboratoire 3S avec [Brissaud, 1992] pour la génération de processus, [Paris, 1995] pour l'étude de la prise de pièce. L'apport majeur de ces

travaux se situe essentiellement par l'association de processus de fabrication à des description de produit sous forme d'entités d'usinage. La description de la pièce est alors sémantique et la connaissance rattachée aux entités permet après traitement d'en dégager une séquence capable. Les travaux de [Brissaud, 1992] ont été le point de départ des travaux de thèse de Cédric Derras [Derras, 1998] présentés section 2.2.2.

De plus, le modèle de produit est également couplé au processus qui le supporte et des approches hybrides, essentiellement issues du LAMIH-SP et du LAPS-GRAI, constituent en :

- une démarche de conception algorithmique orientée phase d'analyse ou de spécification, comportant une composante axiomatique [Jacquet, 1998]. Cette approche généralise le cycle de conception par fonctionnalités élaborés au sein du LAMIH-SP en partant du constat que les *formes* présentes sur une pièce mécanique ne doivent exister que pour remplir une *fonction (formes fonctionnelles)*, ou contribuer à sa réalisation par association fonctionnelle à d'autres formes présentes, soit sur la même pièce, soit sur d'autres pièces dans le cas des assemblages. La démarche entreprise est proche de celle entreprise par [Krause, 1993] qui couvre à la fois les aspects gestion de l'activité de conception et les aspects liés à la modélisation produit basée *feature* synthétisé dans [Deneux, 2002].
- un cadre conceptuel de conduite basé sur une structuration du système de conception [Eynard, 1999], [Girard, 1999]. L'objectif principal des décisions de conduite est d'organiser et d'assurer le suivi du système technologique afin de satisfaire aux objectifs assignés au système de conception. Le modèle de produit associé au modèle de processus, proposé par ces travaux, permet de justifier l'évolution des connaissances du produit de leur définition fonctionnelle (exprimée en terme d'objectifs) à leur définition physique. La modélisation de l'évolution se fait à l'aide des réseaux GRAI étendus où trois types d'activités sont considérées : conception, décision et exécution. Ces deux modèles ont été conçus de façon à pouvoir renseigner les centres de décisions. Ces travaux ont été un des points de départ du projet RNTL IPPOP présenté section 2.3.4.

Proche des approches déjà expérimentées en génie automatique pour la définition d'un référentiel d'échange de données [Lhoste, 1994], [Lesage, 1994], [Bon-Bierel, 1998] et proche de nos travaux sur la modélisation de produit multi-points de vue [Million, 1998], celle d'[Harani, 1997] repose sur le concept de méta-modélisation. Le produit est ici un composant de « *produit* » et possède un certain nombre d'attributs qui le caractérisent, mais aussi des « *point-de-vue* », « *état* », « *paramètre* » et « *description* ». Le point de vue est représenté par un graphe constitué de « *nœuds* » et de « *liens* ».

La Figure 12 représente un extrait de ses propositions. Ce modèle est complété par un modèle de processus. Les objectifs de ce travail ont porté sur :

- o La définition du produit à partir des spécifications extraites du cahier des charges,
- o La possibilité d'enrichir cette description au fur et à mesure de la progression du projet,
- o La conservation de l'historique de conception pour une consultation et/ou réutilisation ultérieure.

Les travaux de [Blaise, 1999] s'inscrivent également dans ce contexte de méta-modélisation en utilisant la méthode NIAM (Nijssen Information Analysis Method) [Habrias, 1988] de manière à élaborer un modèle formel de la connaissance contenue dans les normes et plus particulièrement dans celle issue des règles de sécurité des machines de type presse. De même que [Hasan, 2002] qui définit la notion de « *situation de travail* », ces travaux visent donc à mettre à la disposition des concepteurs, et ce au plus tôt, les prérogatives fournies par les normes qui sont généralement utilisées, trop tard, en phase de certification de machine.

Ainsi, la maîtrise de l'information, voire de la connaissance, passe donc par la mise en place d'un référentiel numérique. La brève synthèse bibliographique présentée montre que les travaux entrepris sont loin d'avoir la couverture escomptée du cycle de vie produit puisque l'on retient trois centres d'intérêts majeurs autour de **la conception, la fabrication et la conduite de projet d'ingénierie**. Et de conclure qu'il n'existe pas de modèle de produit universel mais une pléthore de travaux répondant à des aspects très précis d'un problématique. Aussi, la description du produit peut varier au sein de cet espace multi-dimensionnel.

Les multiples travaux présentés sur la définition d'un référentiel permettant l'échange de données en ingénierie concurrente sont à rapprocher des modèles normatifs proposés par la norme STEP. Nous

présentons section 2.2.4 une proposition de modèle produit ayant fait l'objet de propositions pour l'AP 238 de la norme ISO 10303 [ISO 10303-238].

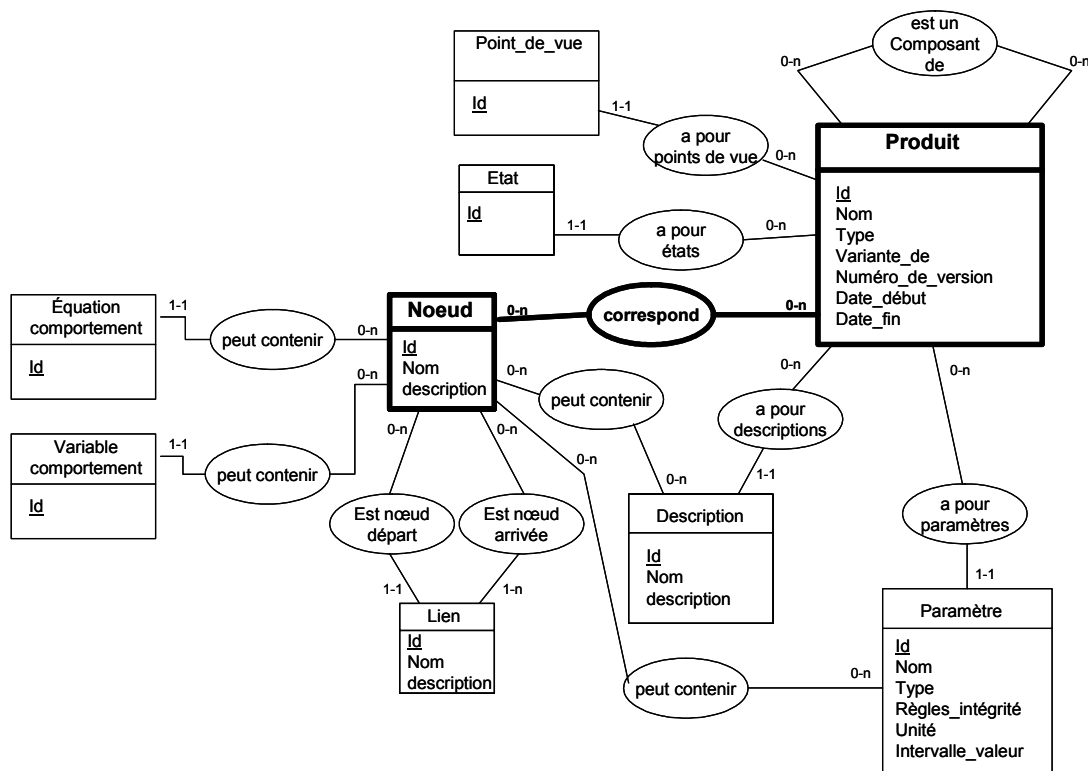


Figure 12 : Méta-modèle [Harani, 1997]

### 2.2.1.3 Modélisation de données produit : la technologie STEP

Le projet STEP (<http://www.tc184-sc4.org>) a été lancé au niveau de l'ISO (*International Organization for Standardization*) au milieu des années 1980 avec pour objectif de définir une représentation non ambiguë des données du produit, interprétable par tout système informatique, et couvrant tout le cycle de vie des produits. Mais atteindre cet objectif présentait deux difficultés essentielles :

- la définition d'un format neutre, interprétable par tout système informatique indépendamment du système particulier utilisé pour générer les données
- la couverture d'un très vaste domaine de connaissance, correspondant à l'ensemble des catégories de produits (pièce élémentaires, assemblages, mécanismes ...), selon le point de vue des métiers (électronique, mécanique, ingénierie, ...), et à toutes les phases du cycle de vie.

Cette première difficulté a imposé de développer toute une nouvelle méthodologie sur la modélisation des données supportée par un langage formel EXPRESS [ISO 10303-11] de spécification des données garantissant que les données ne sont plus destinées à ne dépendre des *systèmes* qui les génèrent, mais des *modèles* qui les décrivent. A noter l'importance de l'utilisation de NIAM dans les phases amont à la formalisation en EXPRESS [Bouazza, 1995]. La notation graphique EXPRESS-G a rendu inutile son utilisation bien que cela engendre une dégradation ou perte sémantique de représentation ainsi qu'une perte au niveau de la validation textuelle des modèles.

Cette deuxième difficulté a amené à élaborer un cadre très procédural permettant de faire collaborer des spécialistes de chacun des domaines techniques avec des spécialistes de la modélisation des données pour construire les modèles propres à chaque domaine. Elle a ensuite amené au développement d'une méthodologie visant à permettre à ces nombreux groupes d'experts de mettre en commun les modèles relevant des aspects communs.

Plusieurs protocoles sont devenus des références tel l'AP203 et l'AP214 pour la conception mécanique et l'automobile [Chambolle, 1999], l'AP209 pour le calcul par éléments finis, etc.

Des travaux, tels que ceux entrepris par [Marchand, 1996] sur l'étude des SATT (Surfaces Associées Technologiquement et Tologiquement), ont pour objet de participer à l'enrichissement des modèles proposés par la norme. Il en est de même des résultats proposés section 2.2.4.

Enfin, les travaux entrepris par Pierra depuis presque vingt ans autour de la modélisation et de l'échange de données de composants ont donné lieu au modèle CAD-LIB [Pierra, 1994], et désormais nommé PLIB (ISO 13584), sont-ils à rapprocher de nos préoccupations en terme d'approche de démarche de modélisation. L'idée centrale de la norme PLIB est qu'un composant n'est pas seulement, comme le considèrent les systèmes CAO, une ou plusieurs *représentations*. Ce n'est pas non plus, comme le considèrent les bases articles ou, bien souvent, les fichiers STEP, une simple *identification*. C'est, en fait, un ensemble de propriétés spécifique de chaque famille d'objet, et qui représente aussi bien la nature que la fonction des composants de la famille [Pierra, 2000].

La représentation des objets techniques, issus de bibliothèques de composants pour la CAO mécanique, est réalisée à travers des vues fonctionnelles. Ce modèle permet, grâce à ses quatre niveaux d'abstraction (*object type, classe, instance, occurrence*) et à ses relations fondamentales (*is\_a, is\_part\_of, is\_view\_of, is\_case\_of*), la représentation de plusieurs points de vue à travers des hiérarchies parallèles articulées autour d'une hiérarchie pivot satisfaisant ainsi les exigences posées par la représentation multiple d'objets techniques. A noter, l'interprétation très particulière des notions d'*instance* et d'*occurrence*, « *quand une instance est choisie, et insérée dans un modèle de produit, un certain nombre d'informations supplémentaires doivent être rajoutées à cette instance qui devient une occurrence* [Pierra, 1993]».

Aussi est-il important de conclure que même si le concept d'entité, qui correspond à une volonté d'optimiser le cycle de production en permettant une intégration de haut niveau sémantique des fonctions de l'entrepris, il est un concept fédérateur largement utilisé (section 2.2.2) mais il ne résout pas à lui seul le problème du partage d'information ainsi que de ces multiples représentations (section 2.2.3 et 2.2.4).

## 2.2.2 Démarche orientée connaissances

Une des conclusions du projet D.M.M.S. a porté sur la nécessité de disposer de relations sémantiques entre les métiers. Cela ne peut se faire que par l'analyse sémantique des connaissances mises en œuvre par les différents métiers impliqués, en vue de les formaliser pour développer des outils d'assistance efficaces. Parmi ces métiers, nous nous sommes intéressés à la phase de génération de processus de fabrication. En effet, dans le projet D.M.M.S., le poste du mécanicien a été réduit, dans son implémentation, à PROPEL [Tsang, 1987], [Brissaud, 1992] car la génération de processus de fabrication représente une activité charnière entre les différents métiers de la fonction de conception. Ces travaux ont été à l'origine de ceux de Cédric DERRAS [Derras, 1998]. De plus, on ne peut parler de processus de fabrication sans l'étude conjointe de la conception du montage d'usinage, ressource utilisée pendant le processus de transformation du produit. Aussi en parallèle, cette étude a fait l'objet du mémoire CNAM de Philippe RICHARD [Richard, 1997]. Ces deux travaux ont donné lieu à un même prototype FUKAPP (*FUZZY Knowledge Aided Process Planning*) supporté par la même approche et implémenté sous CAD-X1 (Kadetech – 69130 Ecully).

La Figure 13 présente, de façon informelle, l'enchaînement des thématiques, travaux et résultats autour de la démarche orientée connaissances ayant permis d'aboutir au prototype FUKKAP.

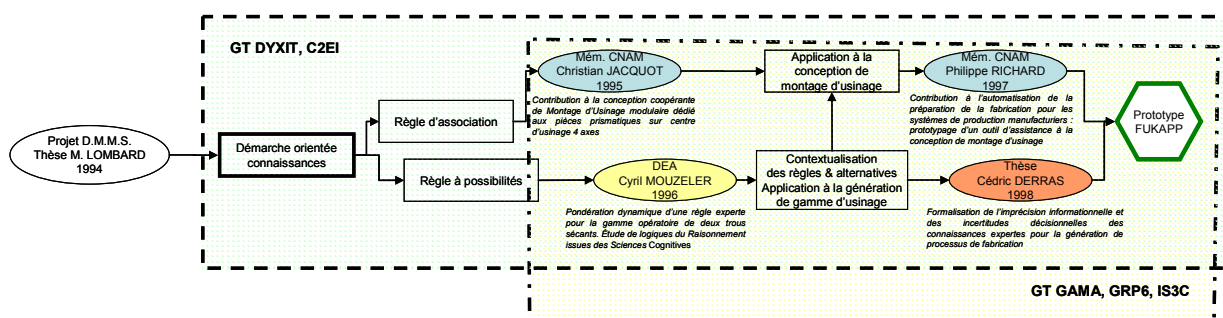


Figure 13 : Extrait de la vue informelle autour de la démarche orientée connaissances

Nous rappelons brièvement dans ce qui suit la problématique issue de la modélisation de connaissance et détaillons ensuite la méthode développée en s'appuyant sur un exemple. Enfin, nous présentons le prototype FUKAPP au travers d'un bilan.

### 2.2.2.1 La démarche de génération de gammes d'usinage : un exercice complexe

Les définitions proposées par le groupe GAMA [GAMA, 1990], concernant les vocables utilisés en génération de gammes d'usinage, sont unanimement reconnues, il en est autrement du point de vue de la démarche de génération de gammes. En effet, la démarche est complexe et aucun modèle général n'a encore été proposé. Toutefois, les travaux sur le sujet entrepris par le laboratoire 3S de Grenoble ont largement contribué à dégager un consensus, nous retenons ceux de [Tsang, 1987], [Brissaud, 1992] proposant un modèle pour la génération de gammes d'usinage (Figure 14).

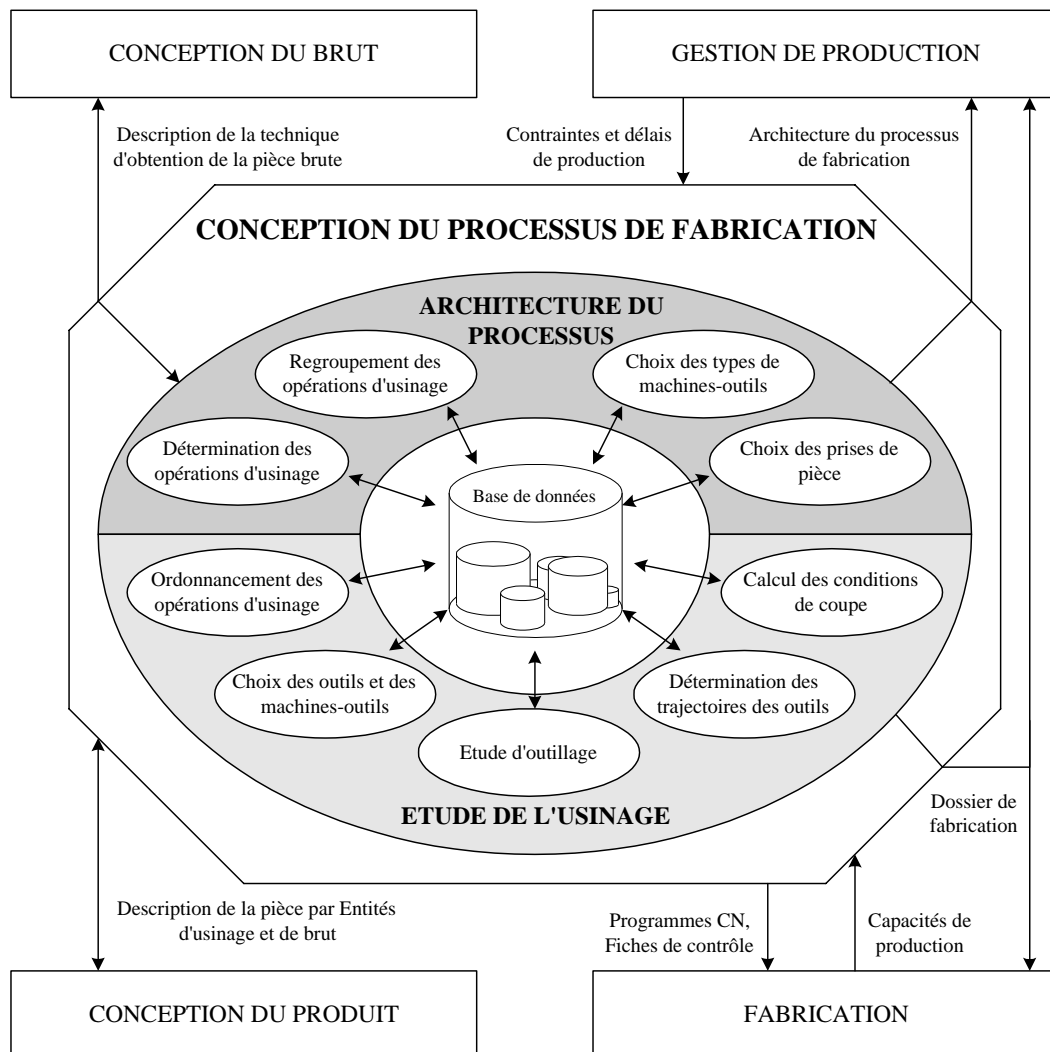


Figure 14 : Démarche de génération de gammes d'usinage

La complexité relative à la maîtrise de cette activité relève en fait de plusieurs aspects :

- du point de vue de la fabrication** : le gammiste doit assurer le choix des machines outils nécessaires à la réalisation de la pièce jusqu'à la détermination du programme de commande numérique, en passant par le choix des appuis et des ablocages, le calcul des temps de fabrication, la création des devis, ... Ces choix sont effectués dans chacun des domaines d'expertise présentés Figure 14. En fait, pour un problème donné (une pièce dont la gamme d'usinage est à déterminer), dans chaque domaine d'expertise, il existe différentes alternatives de décision. Le problème du gammiste est alors d'effectuer des choix parmi ces alternatives, en prenant en compte un ensemble d'informations très diverses,



- **du point de vue de la conception** : [Sabourin, 1995] affirme que l'activité de génération de gammes d'usinage est l'élément clé du dialogue entre le concepteur et le fabricant du produit. Elle permet en effet de valider au plus tôt, d'un point de vue faisabilité, la conception du produit réalisé, même si celle-ci n'est pas encore complètement finie. Ainsi, elle permet rapidement de distribuer des informations aux autres métiers du processus global ayant à traiter les aspects *Temps* et *Espace* du produit par exemple,
- **du point de vue inter-métiers** : nous avons montré, au travers du travail de D.E.A. de Cédric Derras [Derras, 1995], en déployant un scénario de conception intégré, comment le gammiste s'avère jouer un rôle central dans le processus de conception/réalisation du produit. Celui-ci doit en effet systématiquement travailler en interaction avec la fonction de conception du produit, la fonction de fabrication du produit, la fonction de conception du brut, la fonction de gestion de production, la fonction de conception des outillages, la fonction de suivi de qualité, ... L'activité de génération de gamme d'usinage est encore actuellement le maillon manquant dans une chaîne réellement intégrée de CFAO (Conception et Fabrication Assistée par Ordinateur) en regard des objectifs du projet USIQUICK développée section 2.2.4.

Les informations générées par des décisions prises à un niveau d'expertise donné influent sur les choix décisionnels à effectuer dans les autres domaines d'expertise, elles sont donc extrêmement inter-dépendantes.

#### 2.2.2.2 Les connaissances contextuelles en génération de gammes d'usinage [Derras, 1998]

Outre le caractère imprécis de l'expertise à modéliser provenant de l'imperfection exprimée dans la verbalisation du gammiste, il n'en demeure pas moins que cette connaissance est fortement liée à son contexte d'utilisation. Il en est pour preuve l'enseignement qui est fait autour de cette problématique et qui relève d'un apprentissage autour de l'exemple ou d'une transmission de savoir-faire.

En effet, relativement à un domaine d'expertise donné, un gammiste appréhende le contexte du problème à résoudre sous la forme de règles de savoir-faire qualifiées de **règles contextuelles**. Ces règles contextuelles manipulent des critères de différents types, appelés **critères contextuels** :

- critères géométriques : tolérances, dimensions...
- critères topologiques : intersections et relations entre Entités...
- critères économiques et temporels : délais, taille des séries, coût de fabrication...
- critères technologiques : états de surface, matériaux, outillages...
- 

Chacune des règles contextuelles manipulant ces critères contextuels concluent sur une des alternatives de décision relative au champ d'expertise en question. Globalement, d'un point de vue modélisation, la connaissance contextuelle, comme toute expertise, est ainsi constituée des deux aspects fondamentaux suivants :

- **le contexte informationnel** : ce sont les informations décrivant chaque critère contextuel (aspect données)
- **le contexte décisionnel** : ce sont les règles qui manipulent les critères contextuels, de manière à qualifier la possibilité de chaque alternative de décision possible, relativement à un domaine d'expertise (aspect traitements).

Pour illustrer ce propos, nous reprenons l'exemple (Figure 15) issu de [Tsang, 1990]. La problématique traitée par [Derras, 1998] peut être résumée par l'étude de l'application de la règle générale experte suivante pour déterminer l'ordre d'usinage de deux trous sécants :

$\mathcal{R}$ : « Réaliser le plus petit alésage avant le plus grand »

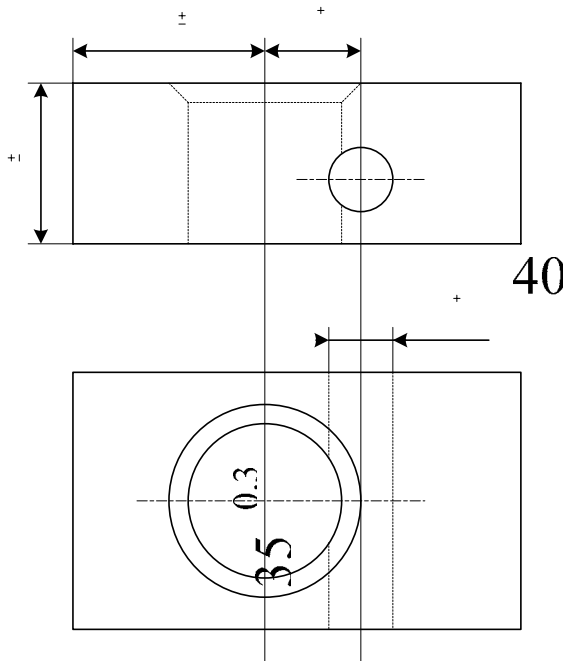


Figure 15 : Pièce exemple [Tsang, 1990]

Dans l'implémentation de ses règles, PROPEL [Tsang, 1987] propose de les pondérer de 1 à 10. Le choix du poids reste arbitraire et délicat et ne prend pas en compte pleinement le contexte d'utilisation. Car en effet, il convient d'envisager trois critères contextuels liés au domaine d'expertise et qui sont présentés (Figure 16).

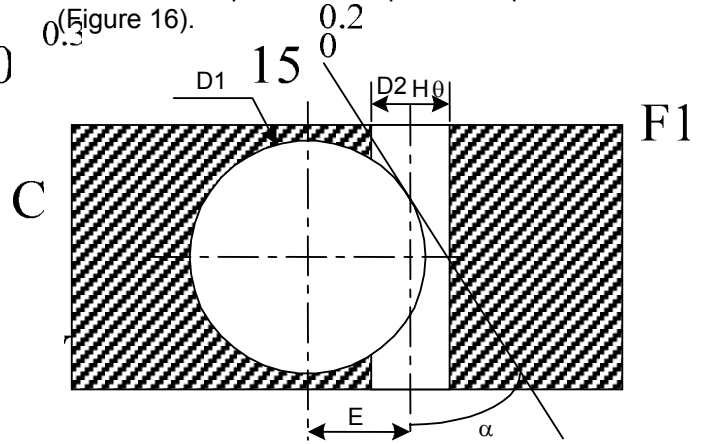


Figure 16 : Définition des critères contextuels

Les critères contextuels sont :

<ul style="list-style-type: none"> <li>un critère géométrique : <math>\alpha = \text{Arccos}\left(\frac{2E}{D1}\right)</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>un critère topologique : <math>\delta = \frac{D2}{D1}</math></li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>un critère technologique : la qualité <math>\theta</math> du petit alésage</li> </ul>	

Ils sont manipulés par des règles de savoir-faire contextuelles. Ces savoir-faire constituent le contexte décisionnel du domaine d'expertise relatif à l'ordonnement des opérations d'usinage de deux alésages sécants et peuvent s'énoncer de la manière suivante :

- plus  $\alpha$  est grand et  $\theta$  est large, plus il est possible de réaliser le grand alésage avant le petit,
- plus  $\delta$  est grand et  $\theta$  est large, plus il est possible de réaliser le grand alésage avant le petit,
- plus  $\alpha$  est grand et  $\delta$  est grand, plus il est possible de réaliser le grand alésage avant le petit.

Ces savoir-faire verbalisés établissent en fait une liaison entre les variations de plusieurs critères contextuels et la possibilité liée au choix de l'une ou l'autre des alternatives. En effet, chacune de ces règles de savoir-faire conclue sur l'existence plus ou moins possible d'une alternative plutôt qu'une autre, en fonction de la caractérisation des critères contextuels. C'est-à-dire que si  $\alpha$  est grand et  $\theta$  est large par exemple, alors le choix du gammiste se porte plutôt sur l'alternative « Réaliser le grand alésage avant le petit », tandis que si  $\alpha$  est petit et  $\theta$  est serrée, alors le choix du gammiste se porte plutôt sur l'alternative « Réaliser le petit alésage avant le grand ». Par conséquent sur un plan formel, les savoir-faire verbalisés précédemment peuvent s'écrire sous la forme de règles :

<p>SI <math>[(\theta \text{ est large ET } (\alpha \text{ est grand OU } \delta \text{ est grand})) \text{ OU } (\alpha \text{ est grand OU } \delta \text{ est grand})]</math> ALORS Réaliser le grand alésage T1 avant le petit T2</p> <p>Et</p> <p>SI <math>[(\theta \text{ est serré ET } (\alpha \text{ est petit OU } \delta \text{ est petit})) \text{ OU } (\alpha \text{ est petit OU } \delta \text{ est petit})]</math> ALORS Réaliser le petit alésage T2 avant le grand T1</p>
---

Les critères contextuels, dans la verbalisation experte, sont caractérisés de manière tout à fait symbolique, et donc imprécise :  $\alpha$  est plus ou moins grand,  $\theta$  est plus ou moins large ... Ce

phénomène vient du fait que généralement un expert gammiste ne spécifie précisément dans sa verbalisation que ce qu'il connaît consciemment. Ainsi, il ne ressent pas systématiquement la nécessité de définir une granularité aussi fine que celle d'une échelle numérique, relativement à l'expression de sa connaissance, faute de perdre des informations précieuses. Au contraire, il peut plus facilement qualifier symboliquement cette connaissance : mauvais état de surface, petite taille, efforts axiaux importants ...

### 2.2.2.3 Démarche de formalisation proposée

Par conséquent, pour un domaine d'expertise donné, cette imprécision dans l'expression des critères contextuels engendre des incertitudes concernant les conclusions des règles contextuelles. Elle engendre donc des incertitudes concernant les différentes alternatives de décision possibles. En effet, une valeur observée pour un critère contextuel peut être perçue comme appartenant à plusieurs des caractérisations symboliques de ces critères. Par exemple une valeur de  $\alpha$  peut être considérée comme étant ni tout à fait grande, ni tout à fait petite. Ainsi les règles contextuelles manipulant les différentes caractérisations de ce critère sont applicables. Mais leurs conclusions deviennent plus ou moins incertaines, en fonction de l'appartenance plus ou moins forte de la valeur de ce critère à ses différentes caractérisations exprimées dans les prémisses des règles contextuelles. Aussi l'utilisation d'un modèle de logique floue permet, dans la démarche proposée par [Derras, 1998], de :

- formaliser les imprécisions définissant les informations manipulées par les règles de savoir-faire, et appelées « *les critères contextuels* »,
- formaliser les différentes règles de savoir-faire manipulant ces critères contextuels dont la définition est imprécise, et appelées « *règles contextuelles* », les règles floues possèdent la capacité de représenter les savoir-faire experts de manière linguistique ou symbolique,
- formaliser les incertitudes associées aux différentes alternatives de décision produites par ces règles contextuelles, relativement à un problème posé.

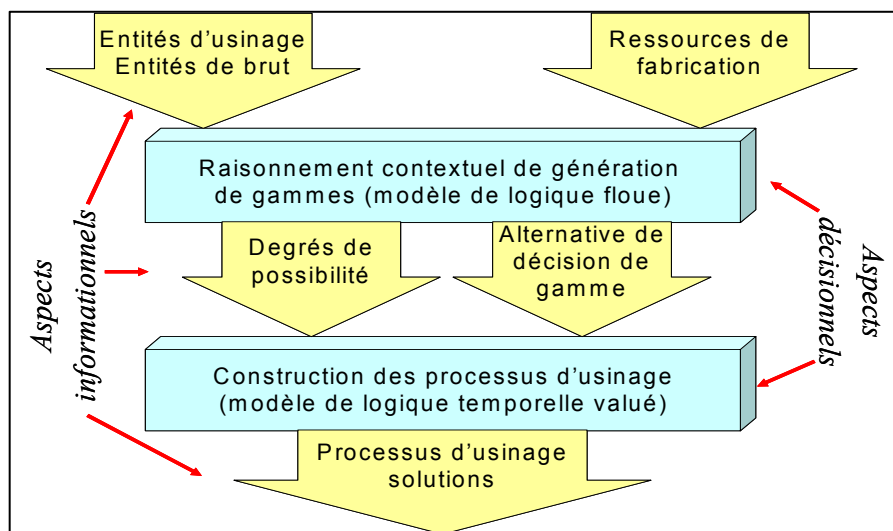


Figure 17 : Démarche de formalisation pour la génération de processus d'usinage

La Figure 17 présente la démarche à appliquer pour la génération de processus d'usinage. Etant donné l'état de la pièce à réaliser, modélisé sous forme d'entités d'usinage et d'entités de brut, et en tenant compte des ressources disponibles de fabrication, il s'agit d'appliquer un raisonnement contextuel de génération de gammes permettant de déterminer un degré de possibilité à des alternatives de décision de gamme. La formalisation mathématique de ce résultat est présentée à l'aide d'un modèle de logique temporelle prenant en compte le degré de possibilité généré et permet l'expression des différentes solutions en terme de processus d'usinage capables.

Nous présentons dans ce qui suit les différents modèles supports de cette démarche.

### 2.2.2.4 Modèle informationnel

La fuzzification constitue l'aspect informationnel fondamental de la logique floue. Les modèles utilisés sont des modèles qualifiés de numérique et de symbolique.

• **Le modèle de fuzzification numérique**

Le modèle de fuzzification numérique vise à formaliser l'expression des informations manipulées par les règles contextuelles, lorsque ces informations sont *a priori* définies sur un univers du discours numérique.

Dans l'exemple, les caractérisations des critères sont de type linguistiques (ou symboliques). En plus de ce référentiel linguistique, chaque critère est caractérisé par un référentiel numérique, regroupant les différentes valeurs numériques que le critère peut prendre. Cette caractérisation numérique est la forme de définition des critères contextuels dont nous disposons *a priori* (avant le raisonnement de génération de gammes d'usinage). Or la forme de définition de ces critères dans les prémisses des règles contextuelles est de type symbolique. Le modèle de fuzzification numérique doit donc modéliser le lien existant entre le référentiel numérique de chaque critère et son référentiel linguistique ou symbolique [Foulloy, 1995].

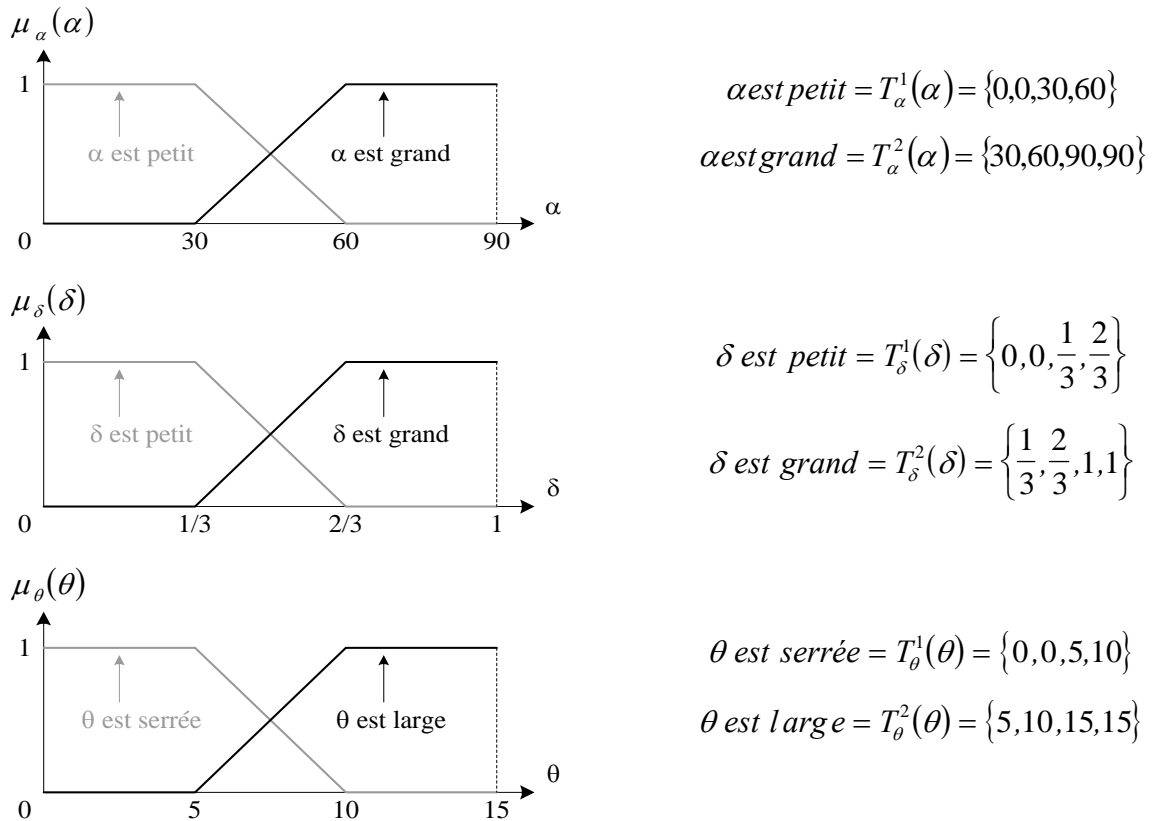


Figure 18 : Partition floue des critères  $\alpha$ ,  $\beta$  et  $\theta$

Ainsi, l'expertise associée au critère  $\alpha$  (dont la caractérisation est numérique en degré) est telle que  $\alpha$  est considéré comme étant *petit* entre 0 et 30 degrés, et *grand* entre 60 et 90 degrés. La définition de la variable linguistique  $\alpha$  est donc la suivante :

$$\left[ \alpha; [0,90]; \left\{ T_\alpha^1 = \alpha \text{ est petit}, T_\alpha^2 = \alpha \text{ est grand} \right\} \right]$$

L'univers du discours définissant  $\alpha$  est ainsi caractérisé par deux sous-ensembles flous, il en est de même pour  $\delta$  et  $\theta$  dont les fonctions d'appartenance sont présentées Figure 18.

• **Le modèle de fuzzification symbolique**

Le modèle de fuzzification symbolique vise à formaliser l'expression des informations manipulées par les règles contextuelles, lorsque ces informations sont uniquement définies sur un univers du discours purement symbolique (ou linguistique).

Dans l'exemple présenté Figure 15 et Figure 16, les différentes conclusions des règles contextuelles sont des valeurs d'un univers du discours symbolique. Les deux conclusions expriment en effet chacune une des alternatives possibles relativement à une antériorité entre deux opérations

d'usinage. Ainsi, nous pouvons considérer que ces conclusions traitent du même type d'information, et qu'elles doivent donc être représentées sur un même univers du discours. Ce dernier définit en quelque sorte la variable représentant l'antériorité entre les deux opérations d'usinage. Cette variable est donc une variable symbolique, pouvant prendre pour valeur l'une ou l'autre des alternatives. Ces valeurs, purement linguistiques, symboliques et non numériques, sont appelées les modalités de la variable qu'elles représentent. La variable en question étant définie sur un référentiel purement symbolique, le modèle de fuzzification symbolique doit en formaliser l'expression [Foulloy, 1995].

Pour la fuzzification des variables symboliques, la représentation graphique de [Bouchon-Meunier, 1995] est utilisée afin de fuzzifier les variables utilisées en conclusions de règles floues, lorsque ces conclusions sont précises. Dans cette représentation graphique, l'axe des abscisses ne représente pas une échelle numérique décrivant l'univers du discours de la variable, mais une échelle symbolique ou linguistique. Les valeurs que peut prendre cette variable sont les différentes modalités symboliques caractérisant son univers du discours.

Dans notre exemple, les deux alternatives de décision manipulées en conclusion des règles contextuelles sont les deux modalités possibles de la variable définissant l'antériorité entre les opérations d'usinage de deux alésages sécants. Ces deux modalités sont définies par deux sous-ensembles flous dont les fonctions d'appartenance sont présentées en Figure 19.

Soit  $F_A$  la variable symbolique représentant la décision relative à l'antécédence entre les opérations d'usinage de deux alésages sécants, pouvant prendre pour valeur (ou modalité)  $F_{Apetit \Rightarrow Agrand}$  (Fabriquer le petit alésage avant le grand) ou  $F_{Agrand \Rightarrow Apetit}$  (Fabriquer le grand alésage avant le petit), on a alors :

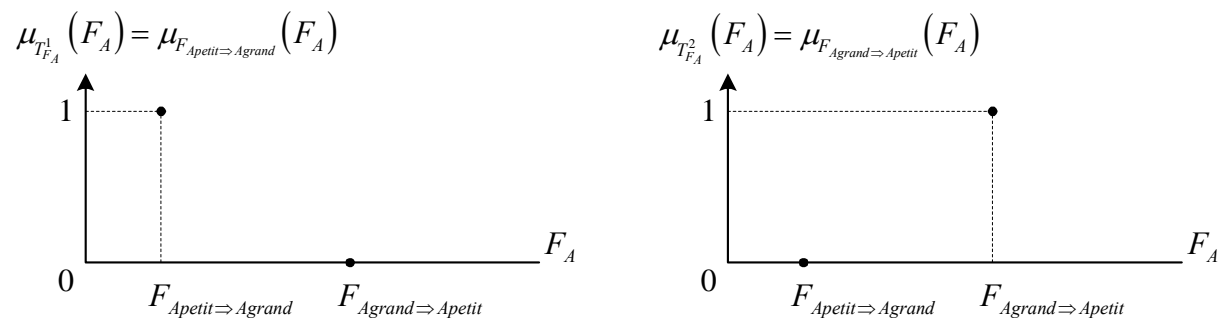


Figure 19 : Modèle des conclusions des règles contextuelles relatives au domaine d'expertise traitant de l'usinage de deux alésages sécants.

Les sous-ensembles flous ainsi construits représentent les valeurs symboliques décrivant cette variable. Ceci explique qu'un terme linguistique décrivant une variable symbolique est représenté par un singleton, c'est-à-dire un ensemble ne contenant qu'un seul élément : la modalité de la variable correspondant directement au terme linguistique. Ce singleton possède donc un degré d'appartenance égal à 1 au sous-ensemble décrivant le terme linguistique qui lui correspond. Les modalités complémentaires de ce singleton sur l'univers du discours possèdent de ce fait un degré d'appartenance nul à ce même sous-ensemble.

#### 2.2.2.5 Modèle décisionnel : un modèle de règles à possibilités

Le modèle informationnel permet de supporter la description des informations manipulées par les savoir-faire contextuels pendant le processus de raisonnement relatif à la génération de gammes d'usinage. Il s'agit maintenant de pouvoir traiter ces informations de manière à modéliser complètement les règles floues exprimant les savoir-faire contextuels.

- **Construction des propositions floues**

Il s'agit de modéliser le connecteur logique ET qui lie entre elles des propositions floues élémentaires. Celles-ci constituent ainsi les propositions floues complexes correspondant aux prémisses des règles contextuelles. Le connecteur ET représente en fait le produit cartésien entre les propositions élémentaires reliées entre elles à l'aide de ce connecteur. C'est l'opérateur *Minimum* qui a été choisi pour modéliser le connecteur logique ET car il produit la valeur la moins contrainte. Dans ce cas, les

valeurs produites occupent en effet l'ensemble de l'échelle numérique entre 0 et 1, tandis qu'elles sont proches de 0 lorsqu'elles sont produites par d'autres t-normes.

D'autre part, le connecteur OU représente l'union entre les propositions élémentaires reliées entre elles par ce connecteur. Parmi les différents opérateurs de t-conorm qui sont employés pour réaliser cette union, l'opérateur maximum est celui qui produit les valeurs les plus contraintes. Dans ce cas-ci, les valeurs produites occupent en effet l'ensemble de l'échelle numérique entre 0 et 1, tandis qu'elles ne sont pas loin de 1 en utilisant d'autres t-conorms. C'est la raison pour laquelle l'opérateur *Maximum* a été choisi pour modeler le connecteur OU.

En ce qui concerne l'exemple proposé, on suppose que la qualité du petit alésage est de 11 [ISO 286-1], que son diamètre est 0,4 fois plus petit que celui du grand alésage, et que l'angle d'usinage du petit alésage avec la grande surface d'alésage est de 50 degrés (Figure 20). Avec  $Pr(T1/T2)$  la valeur de la prémisse de la règle contextuelle concluant qu'on doit usiner T1 avant T2, et  $Pr(T2/T1)$  la valeur de la prémisse de la règle contextuelle concluant qu'on doit usiner T2 avant T1, les résultats obtenus sont:  $Pr(T1/T2) = 2/3$ , et  $Pr(T2/T1) = 1/3$ .

- **Inférence des règles floues**

Cette étape permet de représenter le lien causal entre les prémisses et les conclusions de chaque règle contextuelle. L'inférence dans le raisonnement flou est exécutée en utilisant le modus ponens généralisé [Yager, 1994]. Dans notre cas, selon la classification de Dubois & Prade [Dubois, 1996], nos règles contextuelles sont des règles typiques de possibilité. En référence aux travaux de Ughetto [Ughetto, 1997] et Dubois & Prade [Dubois, 1996], ces règles expriment une sémantique caractéristique des règles à possibilité :

*"plus U est A, plus il est possible que V est B",*

avec U et V deux variables données dont A et B sont respectivement des caractérisations linguistiques. La combinaison des valeurs des prémisses et des conclusions de ces règles est modélisée avec l'opérateur minimum de conjonction:

$$\forall (x; y) \in X \times Y, f_M(x; y) = \text{Min}(f_A(x); f_B(y))$$

avec X l'univers du discours de la variable de x, Y l'univers du discours de la variable de y,  $f_A(x)$  la fonction d'appartenance modélisant "x est A",  $f_B(y)$  la fonction d'appartenance modélisant "y est B", et  $f_M(x; y)$  la fonction d'appartenance de la conjonction minimum modélisant la combinaison entre les prémisses "x est A" et la conclusion "y est B". Les faits observés de toutes les variables d'entrée sont précis : les valeurs des dimensions des Entités d'usinage, de leur qualité de fabrication désirée, des positionnements les unes par rapport aux autres... sont directement issues de la lecture d'un dessin de définition sur lequel ces informations sont évaluées précisément. Certaines autres variables d'entrée ne sont pas forcément définissables relativement à une échelle numérique, mais dans ce cas, leur définition est attachée à une échelle numérique précise par l'intermédiaire d'une modélisation sous la forme d'une échelle linguistique. Cette précision des variables d'entrée entraîne leur représentation sous la forme de singletons et non de quantités floues. Cette précision des variables d'entrée a pour conséquence de rendre le résultat de l'inférence d'une règle contextuelle donnée égal au résultat de l'opération de conjonction entre la prémisse et la conclusion de cette règle [Bouchon-Meunier, 1995]:

$$\forall y \in Y, f_{B'}(y) = f_M(x_1; y)$$

avec  $f_{B'}(y)$  la fonction d'appartenance du résultat d'inférence, considérant que la valeur de la variable entrée est précise  $x_1$ . En conclusion, pour une règle de processus experte de planification (règle  $\mathcal{R}$  dans l'exemple), cette étape permet, pour chaque décision alternative liée à une conclusion contextuelle issue d'une règle, d'associer un degré de possibilité. Pour l'exemple donné, les résultats liés à cette étape sont présentés dans la Figure 20.

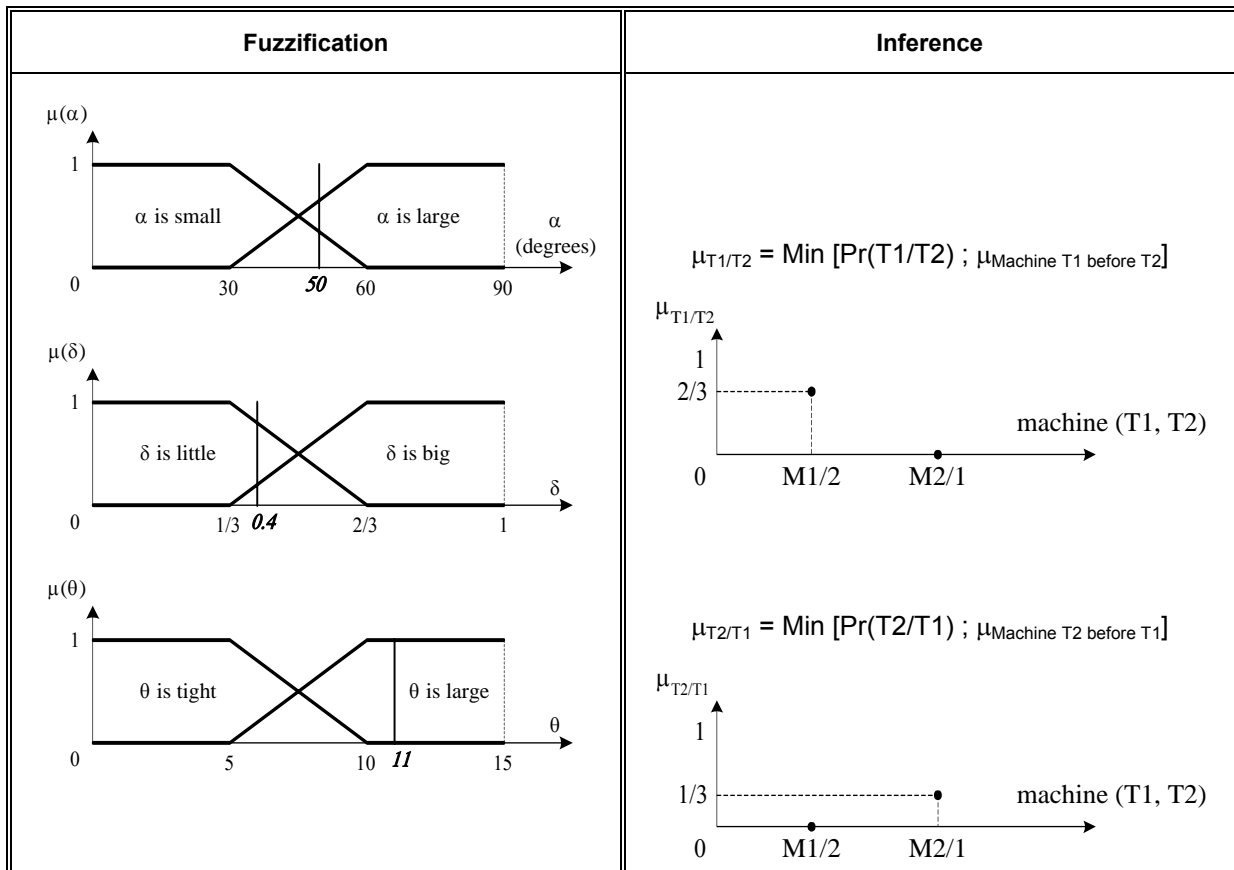


Figure 20 : Processus de raisonnement (prémisse et inférence)

• **Agrégation des conclusions partielles**

L'étape d'inférence mène à différentes valeurs de conclusion pour chaque règle contextuelle donnée, correspondant à différentes alternatives possibles de processus d'usinage. Par conséquent, il est nécessaire d'agréger ces différentes conclusions (deux dans le cas de la règle  $\mathcal{R}$ ) afin de produire une caractérisation simple.

C'est l'opérateur *Maximum* qui est utilisé pour l'agrégation des différentes alternatives de solutions concernant toutes les règles contextuelles:

$$\forall x \in X, \mu_A(x) = \text{Max}_i(\mu_i(x))$$

avec  $i$  le nombre de conclusions partielles à agréger,  $\mu_i$  la fonction d'appartenance associée à la  $i^{\text{ème}}$  conclusion, et  $\mu_A$  la fonction d'agrégation. Concernant l'exemple, les résultats de l'étape d'agrégation des conclusions partielles sont par conséquent les suivants (Figure 21) :

$$\forall x \in \text{machine}(T1, T2),$$

$$\mu_{(T1, T2)}(x) = \text{Max}(\mu_{T1/T2}(x); \mu_{T2/T1}(x))$$

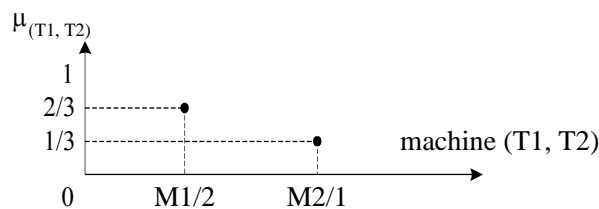


Figure 21 : Agrégation des conclusions partielles

Ainsi l'étape d'agrégation des conclusions partielles produit les degrés de possibilité associés aux différentes valeurs possibles de la variable modélisant les conclusions des règles contextuelles. L'étape de défuzzification n'est donc pas nécessaire ici, si l'on souhaite conserver l'ensemble des possibilités de décision.

Ainsi, pour ce qui concerne notre exemple, les degrés de possibilité associés aux différentes alternatives de décision possibles sont les suivants :

- 2/3 à l'alternative "Réaliser le plus petit alésage avant le plus grand",
- 1/3 à l'alternative "Réaliser le plus grand alésage avant le plus petit".

Notons qu'à partir de ce résultat, si nous ne souhaitons pas conserver l'ensemble des différentes alternatives de décision possibles, il est possible d'effectuer une défuzzification. Celle-ci consisterait par exemple à choisir l'alternative de décision dont le degré de possibilité est le plus élevé.

Le résultat produit par cette méthode est donc tout à fait intéressant, dans la mesure où, relativement au fait observé, il correspond effectivement à la sensibilité des experts : le plus faible degré de possibilité à la décision de fabriquer le petit alésage avant le grand. En effet, même si les deux diamètres sont très différents (ce qui classiquement orienterait la décision vers l'usinage du petit alésage avant le grand), ce résultat s'explique par le fait que  $\alpha$  est assez grand, et que  $\theta$  est spécifiée large.

Finalement, grâce à cette méthode, l'imprécision dans l'expression des critères manipulés dans la prémisse d'une règle contextuelle se traduit directement sous la forme d'un degré de possibilité associé à la conclusion de cette règle. Ce degré de possibilité correspond au degré de similitude entre le fait observé et la prémisse de la règle.

#### 2.2.2.6 Modèle de logique temporelle valué

Les solutions valuées proposées sont relatives à un domaine d'expertise donné. Elles ne sont donc pas des gammes complètes, mais des éléments de la gamme (antécédences entre opérations d'usinage, allocations de machines à des usinages...).

Il est maintenant nécessaire de présenter la méthode, supportée par un modèle de logique temporelle valué, capable de représenter les gammes partielles générées par la méthode présentée dans le paragraphe précédent ; et ce afin de proposer une méthode complète de formalisation de la connaissance liée à la génération de processus de fabrication.

Il s'agit dans un premier temps de proposer les moyens de différencier la notion d'Entité et la notion d'opération d'usinage. Une Entité d'usinage est vue en réalité comme un processus d'usinage, lui-même constitué d'une ou plusieurs opérations d'usinage ordonnées. Ces opérations peuvent être, dans une logique chronologique : les opérations d'ébauche, puis les opérations de demi-finition, et enfin les opérations de finition (Figure 22).

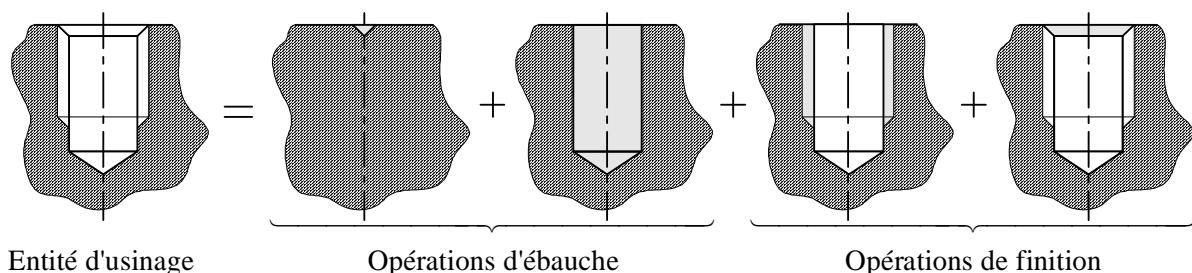
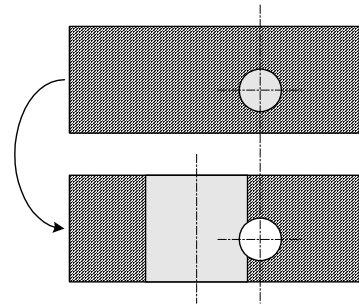


Figure 22 : Exemple d'opérations d'ébauche et de finition constituant un processus d'usinage d'une Entité d'usinage

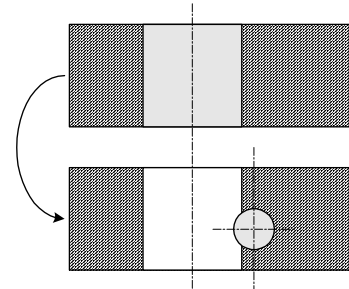
Si l'on désire représenter le domaine des solutions possibles relativement à un domaine d'expertise donné, il faut disposer d'un formalisme capable de supporter la représentation de l'ensemble de ce domaine. Dans notre exemple, cet ensemble est constitué des deux alternatives possibles suivantes :



- Usiner le petit alésage avant le grand :



- Usiner le grand alésage avant le petit :



Les types de connaissances relatifs à cet exemple, du point de vue du processus d'usinage, sont donc des connaissances concernant la décomposition des Entités d'usinage en opérations d'usinage (ébauches, demi-finitions, finitions), ainsi qu'aux contraintes d'antériorités entre opérations d'usinage. Mais, d'une manière plus globale, d'autres types de connaissances, définissant le processus d'usinage, existent. La méthode proposée pour la modélisation de ces connaissances doit pouvoir supporter l'ensemble de ces différents types. D'après [Brissaud, 1992], ces types de connaissances sont :

- des informations relatives à la décomposition des Entités d'usinage en opérations d'usinage (ébauches, demi-finitions, finitions),
- des informations relatives à l'allocation de ressources (machines, outils, prises de pièce) à ces opérations,
- des informations décrivant les antériorités entre opérations d'usinage.

Pour cela, le modèle proposé est basé sur le formalisme mathématique de logique temporelle [Bestougeff, 1989] dont l'avantage par rapport à une représentation de type graphe est de permettre non seulement d'exprimer mais aussi d'automatiser un raisonnement faisant appel à des notions temporelles. [Garro, 1992] définit deux structures que [Lombard, 1992] utilise pour représenter les *potentiels transformationnels*, sous forme de successions d'opérations, que doit réaliser le système pour obtenir une pièce et que [Salau, 1995] utilise pour exprimer le passage entre les différents modules Fonctionnel, Structurel et de Fabrication.

La structure nommée **(P)** permet l'utilisation sur l'ensemble des entités d'usinage **(E)** des opérations logiques **V** et **Λ** (OU et ET). Cette structure permet de représenter les pièces à réaliser. La structure **(O)** est une extension de **(P)** munie du connecteur **M** avec **M(A)** signifiant que **A** sera vrai à un instant suivant. Le OU exclusif est noté **W**.

[Derras, 1998] propose une extension de cette proposition afin qu'elle puisse supporter et manipuler les résultats produits par le modèle de logique floue, c'est-à-dire en proposant d'associer un coefficient de pondération, traduisant le degré de possibilité avec lequel l'événement associé est envisageable.

Aussi, à titre d'exemple, nous illustrons l'étape d'association de processus aux Entités d'usinage. En considérant des résultats obtenus précédemment :

- un degré de possibilité de 1 au fait que T1 est réalisé en deux opérations,
- un degré de possibilité de 1/5 au fait que T2 est réalisé en une opération,
- un degré de possibilité de 4/5 au fait que T2 est réalisé en deux opérations,
- un degré de possibilité de 3/10 au fait que F1 est réalisé en deux opérations,
- un degré de possibilité de 3/5 au fait que F1 est réalisé en trois opérations.

La méthode de formalisation du processus d'usinage permet alors d'écrire, sans le détail des ressources (triplets d'usinage) associées aux opérations d'usinage :

$$T_1 = (ET_1 \wedge M(FT_1); 1) \qquad T_2 = \left( FT_2; \frac{1}{5} \right) W \left( ET_2 \wedge M(FT_2); \frac{4}{5} \right)$$

$$F_1 = \left( EF_1 \wedge M(FF_1); \frac{3}{10} \right) W \left( EF_1 \wedge M(DF_1) \wedge M^2(FF_1); \frac{3}{5} \right)$$

où E : Ebauche, DF : Demi finition, F : Finition.

De la même manière, la méthode propose l'expression de l'allocation des ressources au moyen du triplet « machine-outil-posage ». De manière à disposer de l'ensemble des connaissances formalisées, [Derras, 1998] propose une agrégation de l'ensemble des assertions produites. A titre d'exemple, l'équation ci-dessous présente un processus possible associé à ses degré de possibilité pour la famille de processus  $P_{a+c}^{R1}$  :

$${}^1P_{a+c}^{R1} = \left( \begin{array}{l} (EF_1) \wedge M(FF_1, T_{FF_1}^{Cu4x, O4, B3}) \wedge M^2(EA_1) \wedge M^3(FA_1, T_{FA_1}^{Cu4x, O3, B3}) \\ \wedge M^4(FA_2, T_{FA_2}^{Cu4x, O2, B3}); \frac{1}{5} \end{array} \right)$$

Des règles simples d'antériorité permettent de simplifier au préalable l'espace des possibilités comme celle de dire que « une ébauche se fait toujours avant une finition » ...

La méthode ainsi obtenue est capable de manipuler à la fois :

- les différentes alternatives de décision pour construire un ensemble de processus de fabrication solutions, relativement à la pièce donnée,
- les différentes incertitudes associées à ces décisions afin, en les agrégeant, d'associer un degré de possibilité à chacun des processus solutions produits.

#### 2.2.2.7 Prototype FUKAPP : bilan

Le travail de [Derras, 1998], en génération de processus d'usinage, et de [Richard, 1997], en conception de montage d'usinage, a donné lieu à un système à base de connaissance FUKAPP (*FUZZY Knowledge Aided Process Planning*), développé sous CAD-X1, et présente une architecture à deux niveaux :

- **une structure de données intégrées**, assurant un certain niveau de cohérence entre les différentes informations relatives à une pièce donnée, et sur laquelle les différents modules "métier" peuvent ainsi s'appuyer dans leur raisonnement.
- **une structure de traitement expert de ces informations**, organisée en plusieurs modules de raisonnement partageant la structure de données commune.

Chaque information relative à la pièce à traiter est stockée en permanence dans une structure de données commune et accessible par chacun des modules. Ces derniers enrichissent alors cette structure à l'aide d'informations qui leur sont propres, et d'informations intéressant d'autres modules. Le modèle "Entité" décrivant les Entités de la pièce, constitue le fédérateur de l'ensemble des informations des différents modules. L'utilisation et la génération de ces informations sont réalisés par les règles expertes implémentées dans les modules "métier", qui ont été fournies par les experts des domaines.

Un utilisateur décrit en fait les informations qui définissent la pièce à traiter à l'aide du module PAD (PArT Description), ainsi que les informations décrivant les ressources de fabrication disponibles à l'aide du module RED (REsources Description). Celles-ci sont ensuite utilisées par le module FUCOM (FUZZY COntext Modelling) qui définit alors les différentes alternatives de génération de gammes. A partir de l'ensemble de ces informations, ACOGU (Assistance à la Conception de Gamme d'Usinage) construit les gammes d'usinage et ACME (Assistance à la Conception de Montage d'usinagE), à l'aide de FUCOM qui génère à ce moment-là les alternatives de choix d'éléments de posage, valide les surfaces de posage envisagées en générant les éléments de posage adaptés.

Plus particulièrement, le module FUCOM permet de décrire des informations relatives à la définition de la pièce ou des ressources lorsque celles-ci sont difficilement quantifiables, imprécises, et donc

verbalisées de manière purement linguistique et symbolique. Plus généralement, FUCOM permet au cognicien de saisir l'ensemble des savoir-faire contextuels d'un métier donné, que ce soit la définition des critères contextuels d'un domaine d'expertise, ainsi que celle des règles contextuelles manipulant ces critères. Il s'appuie sur une représentation informationnelle modélisant l'ensemble des concepts mis en œuvre par la méthode de logique floue proposée.

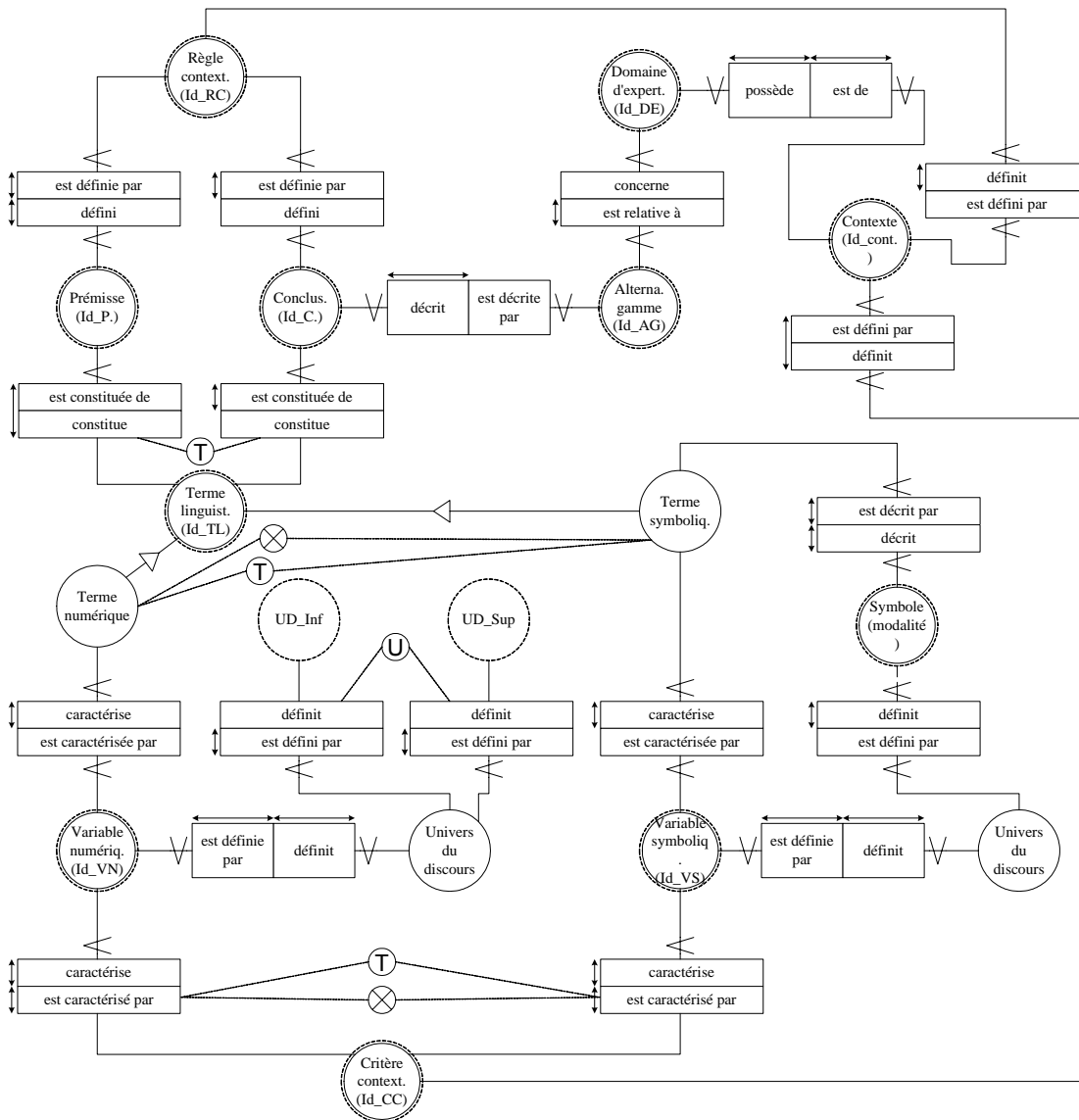


Figure 23 : Modèle informationnel partiel de la méthode de logique floue, implémentée dans le module FUCOM

Le modèle présenté Figure 23 exprime le fait que pour un domaine d'expertise donné, il existe plusieurs alternatives de décision possibles. Ces alternatives sont les conclusions de règles contextuelles relatives à ce domaine d'expertise. Les prémisses de ces règles peuvent être complexes ou simples, et manipulent des critères contextuels, dont les caractérisations linguistiques doivent être définies à l'aide du modèle de fuzzification.

La valuation des différents critères contextuels s'effectue à partir des informations spécifiées par l'utilisateur au niveau des modules PAD et RED. Dès cette valuation effectuée, le raisonnement flou permet alors de mettre en œuvre les règles contextuelles associées, selon le modèle décisionnel présenté précédemment (calcul des prémisses, inférence, agrégation). Ce raisonnement permet de produire le degré de possibilité associé à chaque alternative décisionnelle de chaque domaine d'expertise. L'architecture FUKAPP est présentée Figure 24.

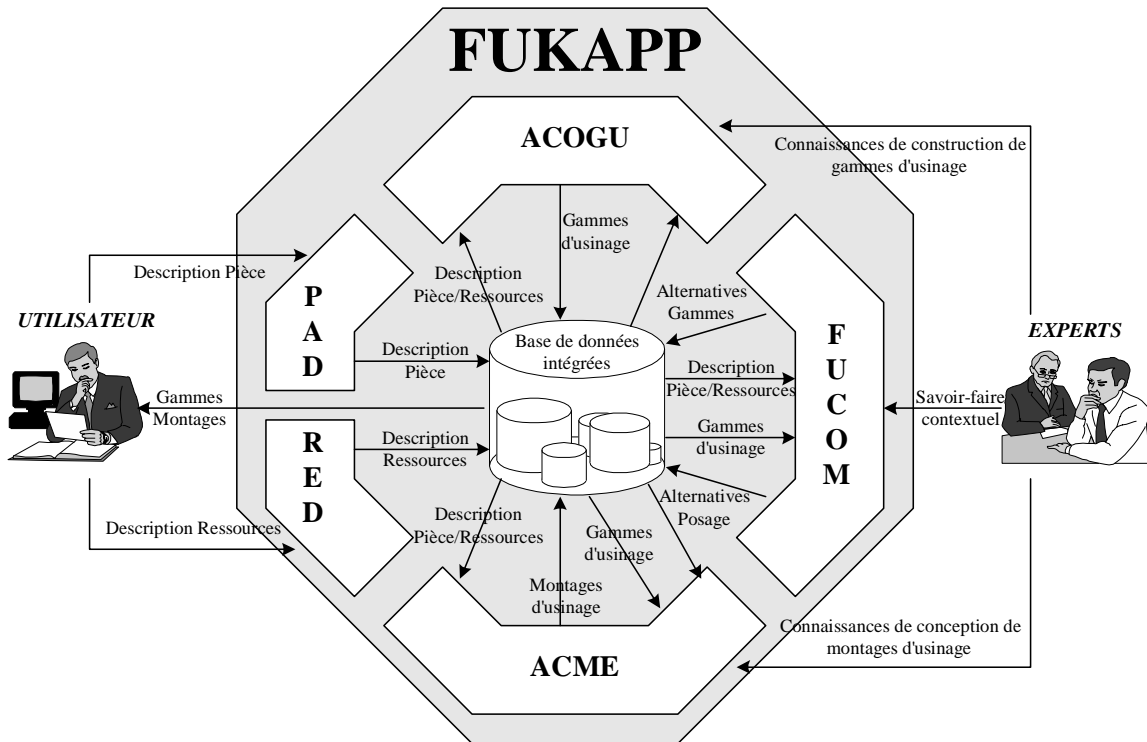


Figure 24 : Architecture de FUKAPP

Les perspectives de ce travail ont mis en évidence l'ouverture d'une telle approche en proposant de se tourner vers le développement d'un système plus large pour l'assistance à la conception des produits, processus et procédés de fabrication, mais également en faisant le lien avec les fonctions de Conception de produit, Conception de brut, Gestion de production et fabrication (Figure 14). De plus, les modèles proposés comme support au développement de FUKAPP sont de différentes natures et couvrent différentes problématiques. En regard des prérogatives issues de l'ingénierie concurrente, cette architecture repose sur une base de données intégrée. C'est pourquoi nous présentons dans ce qui suit, une démarche permettant de répondre aux problèmes inhérents à la construction d'un tel référentiel informationnel devant supporter différents points de vue.

Liste de mes principales publications : [A. 7], [A. 12], [C. 21], [C. 25], [C. 26], [C. 27], [C. 29], [C. 31], [D. 11], [D. 12]

### 2.2.3 Démarche orientée données multi-points de vue

Le système d'information, permettant le lien entre le système opérant (physique ou technologique) et le système décisionnel [Mélèse, 1972] [Girard, 2004], est construit autour des individus qui se réorganisent en permanence en groupes autonomes afin d'assurer les fonctions de l'entreprise, elles-mêmes éclatées pour tenir compte de la gestion par groupes de travail.

L'étude des systèmes d'information en particulier technique en vue de l'intégration des métiers passe par l'étude des besoins utilisateurs et de leurs représentations sous forme de modèles pour leur implémentation informatique.

Les données sont généralement représentées par un modèle dit schéma conceptuel sur lequel s'appuient les phases de conception et d'implémentation ou ingénierie système. La modélisation conceptuelle consiste à mettre en évidence les objets du modèle qui seront repris puis implantés par des objets logiciels. Même si les informations sont de plus en plus distribuées physiquement, à l'instar de [Picavet, 1997] nous pensons que le schéma conceptuel, représentant un objet technique, doit être unique pour des raisons de cohérence et de non redondance des informations. Cette approche fondée sur un modèle unique apporte tout d'abord une centralisation des informations puis un enrichissement de la connaissance par la mise à disposition de toutes les informations dans ce modèle unique. En revanche, il est nécessaire de maîtriser la complexité du modèle d'un système complexe. Effectivement, il faut prendre garde à ce que ce modèle ne devienne pas lui aussi complexe conduisant à des ambiguïtés et empêchant alors toute évolution. En effet, l'évolution de l'organisation de l'entreprise puis de son système d'information passe par l'évolution de son schéma conceptuel [Tabourier, 1986].

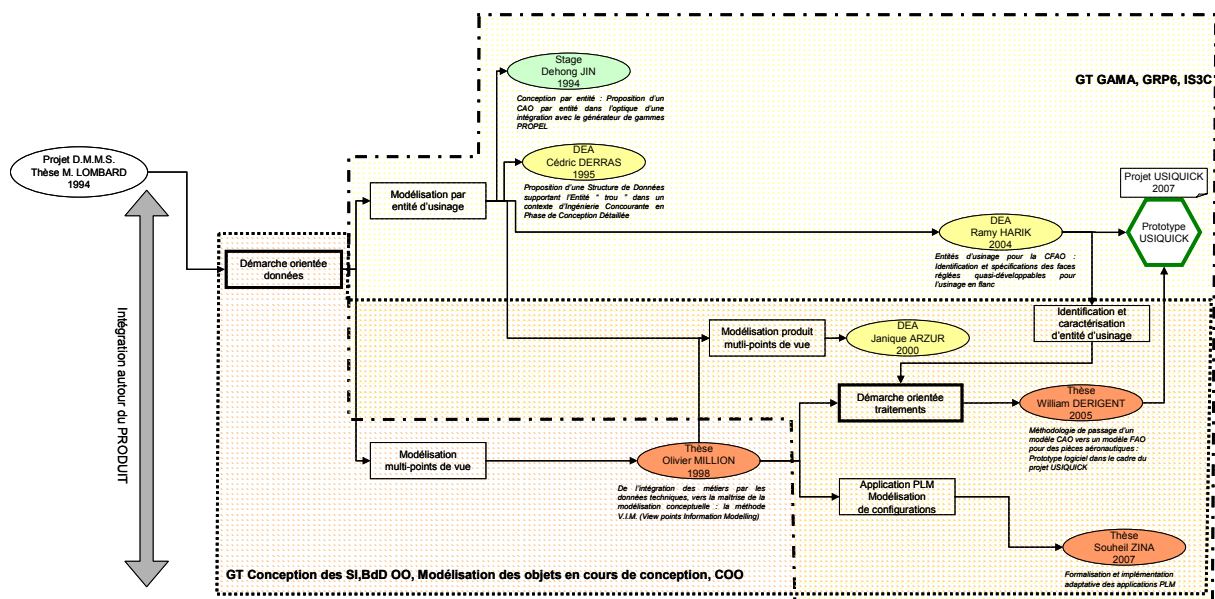


Figure 25 : Extrait de la vue informelle autour de la démarche orientée données

La Figure 25 présente, de façon informelle, l'enchaînement des thématiques, travaux et résultats autour de la démarche orientée données et plus particulièrement autour de la modélisation multi-points de vue.

Aussi, nous présentons dans ce qui suit une démarche originale de modélisation autour des points de vue des acteurs travaillant en ingénierie concurrente. Nous rappelons les définitions des concepts « donnée technique », « points de vue », « vue ». Nous présentons des éléments de réflexions ayant amenés ces travaux. Enfin, nous présentons la méthode V.I.M. (*Viewpoints Information Modelling*) développée dans le cadre de la thèse d'Olivier Million [Million, 1998]. Cette méthode, supportée par son méta-modèle, facilité la modélisation des informations sur les objets techniques des systèmes de production en vue de la modélisation des systèmes d'information dans un contexte multi-points de vue. De plus, nous montrons section 2.2.4, au travers du projet USIQUICK, une application de cette démarche dans un autre cadre que celui prévu initialement.

### 2.2.3.1 Données techniques

Afin de guider le concepteur dans la construction de son modèle conceptuel d'objets techniques, nous proposons une typologie de ces objets basée sur une distinction semblable à celle définie par [Trousse, 1997] selon qui, les objets de CAO peuvent être « réels », « virtuels » ou « idéels » et qui correspondent respectivement à :

- une existence physique
- une représentation d'objet réel
- une représentation de processus intellectuel.

Le premier type d'objet est l'objet réel qui possède comme propriété discriminante par rapport aux autres objets techniques d'avoir une existence physique. Le second type d'objet concerne la représentation qui décrit soit un objet réel, soit un processus intellectuel menant à la représentation d'un objet réel ou abstrait (par exemple la qualité).

Nous proposons Figure 26 une classification des **objets techniques** : la première catégorie est celle des **objets techniques physiques** (produits, outils, machines, atelier....) et la deuxième celle des **objets techniques de représentation** que nous qualifions d'**informationnels** (gamme, dessin technique, gamme d'ordonnancement, programme Commande Numérique et les processus intellectuels de réalisation de ces objets...). Cette dernière catégorie représente des vues d'acteurs sur des objets réels ou abstraits, voire des processus intellectuels. En effet, ces vues peuvent être aussi considérées comme des objets communs à l'instar d'une gamme d'usinage, objet technique sur lequel plusieurs acteurs de différents domaines (bureau d'études, des méthodes, gestion de production, fabrication...) ont un point de vue.

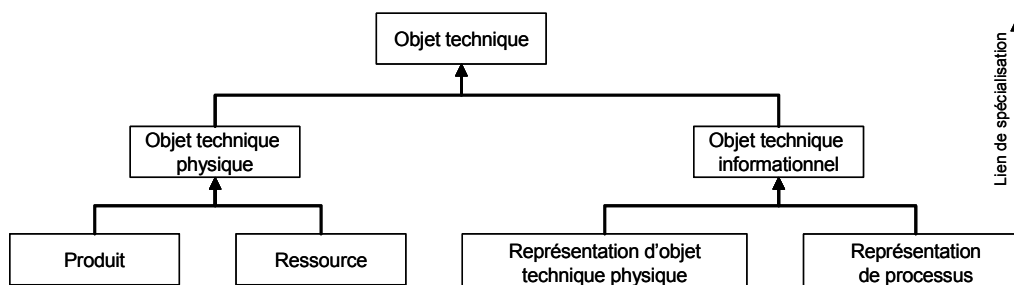


Figure 26 : Typologie d'objets techniques

Nous précisons les relations entre les Objets Techniques Physiques (OTP) et Informationnels (OTI). En effet un OTI peut décrire au plus un OTP, et un OTP peut être décrit par plusieurs OTI. Par exemple, une pièce mécanique peut être un objet technique réel (pièce sur une machine) et un objet technique informationnel (représentation géométrique). Une gamme est une vue sur le produit correspondant au point de vue du gammiste sur le produit ; or la gamme peut être considérée comme un objet technique à part entière sur lequel plusieurs points de vue sont différents (par exemple, celui du gammiste et celui de la gestion de production). Pour les OTP, une distinction possible consiste à identifier les produits, des ressources.

Cette typologie peut s'affiner pour décrire telle ou telle propriété d'un type d'objet afin de donner un support de description des objets dans un référentiel composé de points de vue standards car reconnus par la plupart des domaines techniques.

Par exemple, nous proposons de décrire les OTP dans un référentiel issu du référentiel **Temps-Espace-Forme** [Le Moigne, 1990] que nous interprétons en projetant tout objet technique sur un axe de décomposition structurelle, un axe de stockage et un axe de transport, l'objectif étant de trouver d'éventuelles relations entre objets techniques. Les questions associées à ces axes sont, si l'objet est composite, « de quoi est-il constitué ? », « où stocke-t-on l'objet ? », « qui manipule l'objet ? ».

Dans le cas d'un affinement de la topologie d'objet technique faisant apparaître une spécialisation de l'OTP en OTP ressource et produit, il est possible pour l'OTP produit d'utiliser plusieurs approches comme celle préconisée dans [Tollenaere, 1995], basée sur une décomposition structurelle et fonctionnelle du produit ou celle de [Sellini, 1998] qui propose trois « méta-modèles Produit selon les trois points de vue physique, fonctionnel et géométrique ».

Que l'approche soit par analyse systémique des données manipulées ou qu'elle soit informatique et projetée sur différents modèles, il n'en reste pas moins délicat de faire communiquer ces différents modèles car il n'existe pas de relation évidente de type entre les concepts manipulés.

Aussi dans ce qui suit prônons-nous une approche par ajustement d'un modèle initial aux points de vue des acteurs.

### 2.2.3.2 Notion de points de vue, élément de base du cycle de vie du produit

Chaque acteur possède une vision du produit et travaille sur des données représentant un aspect particulier, si bien que traditionnellement subsistent tout au long du cycle de vie divers modèles décrivant chacun un point de vue particulier du produit à réaliser avec peu de liens entre les vues métiers. Par exemple, la Figure 27 montre l'interprétation qui peut être faite d'un même artefact, la forme géométrique d'un trou alésé recèlent des informations différentes pour plusieurs acteurs [Brissaud, 1992] :

- le concepteur la voit « *comme la surface complémentaire de la barre de guidage* ». Ce sont des informations sur ses qualités de guidage (précision et glissement) qui l'intéressent,
- le gammiste la voit « *comme un alésage résultant du travail d'un foret puis d'un alésoir* ». Ce sont des informations sur l'aspect qualité de réalisation qui l'intéressent,
- le spécialiste de prise de pièce la voit « *comme une cavité pour centreur* ». Ce sont des informations sur l'aspect dispersion sur la qualité de toute la série et l'aspect résistance de cette surface qui l'intéressent,
- le contrôle y voit une méthode de calibrage pour la Machine à Mesurer Tridimensionnelle...

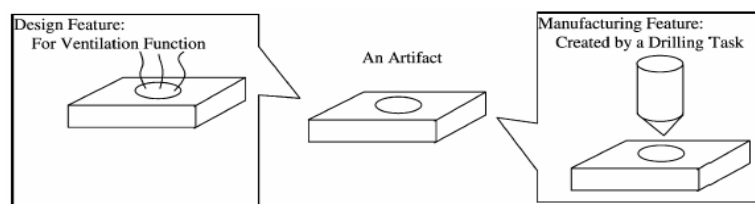


Figure 27 : Différents aspects d'un artefact [Xue, 2004]

Tous les métiers, même s'ils sont dans un domaine proche, n'ont pas besoin d'information sur cette forme géométrique à l'exemple du forgeron qui ne voit pas le trou car son obtention est impossible par les techniques de forge classique.

De plus, un objet technique peut être « vu » de différentes manières selon l'utilisation qui en est faite ; par exemple, pour une pièce mécanique, une représentation géométrique, une représentation fonctionnelle ou une représentation cinématique. L'exemple de la réalisation d'une pièce brute forgée [Mawussi, 1995] fait apparaître trois vues des données (Figure 28) correspondant aux principales phases de production :

- données de conception de la pièce finie,
- données de conception de la pièce brute forgée,
- donnée de définition d'outillages.

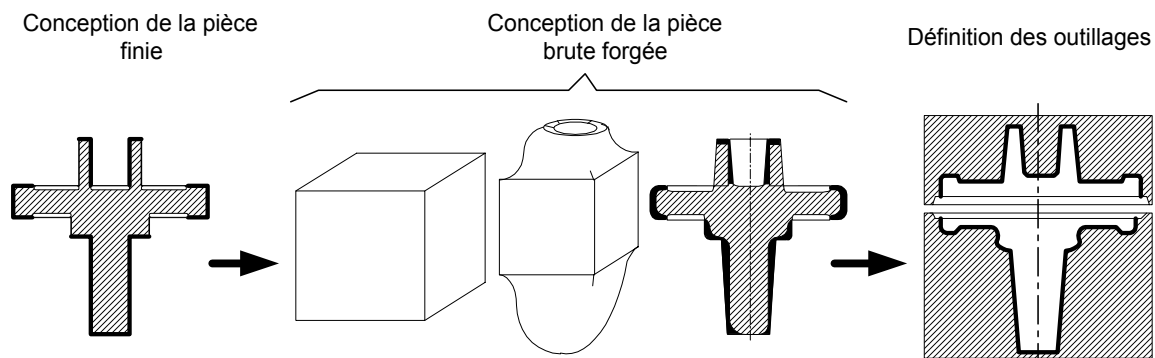


Figure 28 : Vues de Données [Mawussi, 1995]

Nous associons à la notion de *point de vue* celle de *perspective* comme pour [Marino, 1993] qui écrit que « *la perspective d'un monde est la perception qu'en a un expert d'une discipline particulière* ». De façon générale, la sémantique associée à celle de point de vue ou perspective est polarisée sur la représentation que se fait un Homme d'un objet réel voire de l'Univers du discours.

Appliqué à un contexte manufacturier, le point de vue est donc lié au métier de l'acteur et correspond « *au regard* » qu'il porte sur un produit, procédé ou processus. Les différentes descriptions issues de ces points de vue conduisent à des représentations différentes du produit, procédé ou processus qui sont appelées « *vues métiers* » que nous nommons « *vues* » par la suite. La vue est donc la représentation dans un langage métier d'un point de vue.

Par exemple Figure 29, un des points de vue du métier de la mécanique peut être un *point de vue* cinématique et donne lieu à un modèle cinématique de l'objet. Ce modèle ou cette *vue* est la représentation du point de vue du métier sur l'objet.

Au niveau informationnel, nous utilisons les mêmes notions, à savoir que le point de vue d'un acteur sur un objet technique se traduit par l'expression de ses besoins en information sur l'objet. Il s'agit alors pour le concepteur du modèle d'un système d'information technique de représenter ces besoins par un ou des modèles conceptuels (modèles de données, de traitement, d'états...) permettant l'implémentation sous forme d'un système de gestion de données techniques puis l'exploitation de ces modèles en vue de répondre aux points de vue des acteurs [Darke, 1995], [Stanger, 1997].

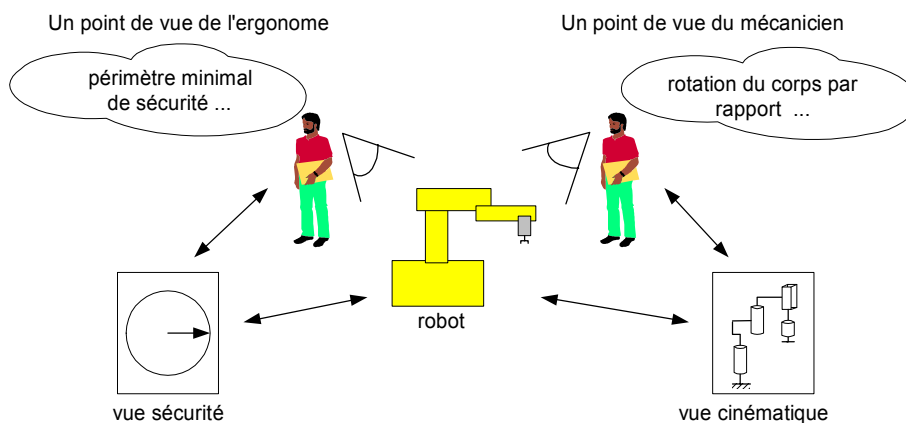


Figure 29 : Vue et point de vue métier

L'exploitation par les acteurs du système d'information se fait via une Interface Homme Machine (IHM) [Graham, 1997], laquelle est issue de requêtes et ou de traitements sur les différents modèles conceptuels implantés : ce sont les « *vues externes* » [Bellashene, 1998] des données. La Figure 30 synthétise ces différentes définitions.

Ainsi, les difficultés résident dans la prise en compte des points de vue des acteurs lors de la conception du modèle conceptuel afin qu'il soit possible d'élaborer les vues répondant aux besoins en information sur les objets.

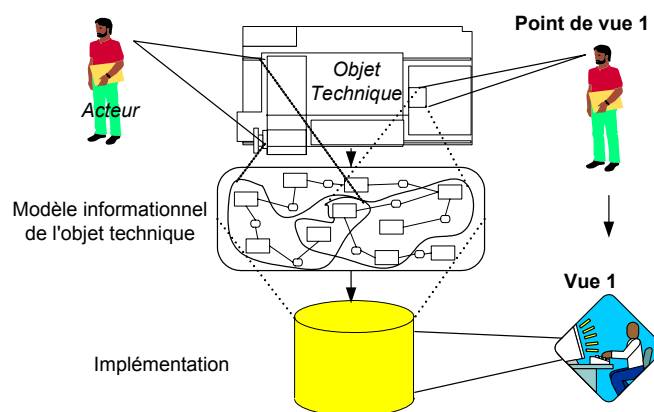


Figure 30 : Vue et de point de vue informatique



### 2.2.3.3 Premiers éléments de réponse

Les artefacts souffrent de la diversité des approches comme en témoigne « *la tour de Babel des modèles* » illustrée au travers de l'étude section 2.2.1.2. Après avoir mis en avant les écueils dus au concept d'intégration prôné par l'approche C.I.M. (Computer Information Manufacturing) [Lombard, 2000] (section 2.1.1.1) et en regard des conclusions du projet D.M.M.S. d'autres alternatives ont alors été étudiées :

- **La hiérarchie des structures**

L'implémentation d'un modèle conceptuel au moyen d'un modèle relationnel impose une structure plate de données à cause de la contrainte en première forme<sup>1</sup>. Ce type de structure de données convient rarement aux données de conception qui ont généralement une structure hiérarchique. Des extensions du modèle relationnel autorisant l'utilisation plus libre de constructeurs de types tel que dans [Abiteboul, 1989] n'ont pas apporté de solutions réellement satisfaisantes [Schek, 1991].

Par contre le modèle SHOOD, développé dans le cadre du projet SHERPA [Rieu, 1999], propose de concevoir un système de représentation de connaissances centralisé basé sur la notion d'objets dynamiques. Il est conçu en deux couches superposées. La couche de représentation des connaissances permet de modéliser soit des connaissances sûres (c'est-à-dire ayant atteint un état stable dans leur évolution), soit des connaissances modifiables (objets en cours d'évolution). La couche de manipulation permet de manipuler les objets en affinant ou modifiant les connaissances détenues sur eux. Il permet entre autre la gestion d'objets complexes par la définition de type de liste, d'ensemble, de méthode ... au travers d'un méta-schéma. SHOOD permet également la spécialisation multiple, c'est-à-dire qu'une classe peut avoir plusieurs super-classes dont elle hérite aussi bien les attributs que les contraintes, ou être simple, c'est-à-dire respecter l'inclusion des ensembles.

Ces travaux portent davantage sur l'implémentation ou la fourniture d'une plateforme que sur la modélisation sémantique conceptuelle de la problématique.

Aussi, nous rappelons les travaux de [Pierra, 2000], autour de la modélisation de composants en CAO au travers du modèle PLIB, qui proposent une modélisation à quatre niveaux de granularité permettant de spécialiser des modèles de référence de composants, instancié en modèle d'un composant qui est implémenté dans une base de données par exemple.

Plus proche de la problématique traitée dans [Million, 1998], en regard des objets techniques, le modèle HOOD [Lombard, 1993] propose, à l'instar des niveaux hiérarchiques de décomposition dans SADT (Structured Analysis and Design Technic) une démarche de modélisation objet intéressante. Cette approche n'a pas été plus envisagée du fait de son implémentation informatique 'orientée objet' et orientée application temps réel comme dans le projet RNTL COTRE<sup>2</sup>.

- **Les contraintes sémantiques**

Le modèle Entité-Association, support de beaucoup de méthodes de conception de système d'information, a pour objectif principal de modéliser les structures de stockage des informations ainsi que les moyens d'accès aux données. Il n'y a donc pas vraiment de distinction entre l'objet et sa représentation et des difficultés surgissent dans l'expression de la sémantique du monde réel : difficulté de représenter certaines contraintes d'intégrité, sémantique dissimulée dans des liens ... Aussi [Morand, 1992] introduit deux niveaux de modèles en distinguant le « *modèle de représentation* » du « *modèle de stockage* ». Le « *modèle de représentation* » permet de modéliser un certain nombre de contraintes et de prendre en compte, de façon indépendante, des changements dans le système d'information, tant au niveau structurel que conceptuel [Morand, 1994].

Les contraintes sémantiques permettent d'exprimer une grande variété de liens entre les objets du monde réel. Elles sont utilisées pour enrichir le pouvoir d'expression d'un modèle de données. Ceci est valable en :

- modélisation en tenant compte des propositions faites par [Tabourier, 1990], [Habrias, 1988]. En regard de ces propositions, [Bounab, 1994] a proposé des extensions du modèle de données de P.C.T.E. dans le cadre des besoins inhérents au projet D.M.M.S.,

<sup>1</sup> Nous rappelons que la première forme normale impose que les attributs de la relation soient atomique (ex : chaîne de caractères, entier, réel ...)

<sup>2</sup> Projet RNTL appel d'offre 2001. Développement et expérimentation d'un atelier logiciel pour la modélisation et la validation de logiciels temps réel : de la conception à l'implantation cible. <http://www.laas.fr/COTRE/>

- implémentation au niveau du modèle relationnel puisqu'il utilise la notion de contrainte sur l'unicité de la clé primaire de la relation, ou les dépendances fonctionnelles entre attributs d'une même relation.

- **Les objets composite et complexes**

Les objets techniques sont parfois composites, c'est-à-dire qu'ils sont composés d'autres objets. Le modèle de données de P.C.T.E. permet également la définition de ces objets. Un objet composite (Figure 31) est défini par :

- un type d'objet racine,
- un ensemble de types d'objets se trouvant dans la fermeture transitive des liens de composition,
- l'ensemble des liens appartenant à cette fermeture transitive.

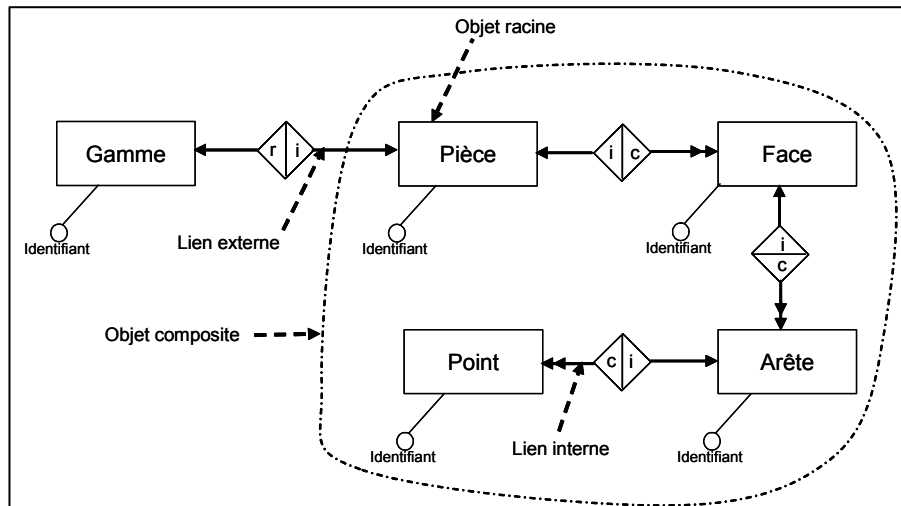


Figure 31 : Exemple d'objet composite

Dans l'exemple Figure 31, l'objet composite *Pièce* est défini par son type d'objet racine *Pièce* et l'ensemble des types d'objets qui y sont reliés par la fermeture transitive des liens de composition (*Face*, *Arête*, *Point*). Ces liens sont appelés *liens internes*. Le lien de référence ayant pour origine le type d'objet *Pièce* est appelé *lien externe*. Ce mécanisme est intéressant mais ne traduit pas encore complètement la problématique des objets complexes, à savoir par exemple les objets qui émanent d'une construction ou d'un assemblage.

Par contre, l'opération de substantivation proposée par la méthode N.I.A.M. [Habrias, 1988] permet d'envisager de tels objets comme provenant d'un concept d'émergence. La Figure 32 illustre qu'un *outil coupant* en tournage procède de l'assemblage d'un *Porte-plaquette* et d'une *Plaquette*. Cet objet composite, qui n'existe pas tant que la relation n'est pas instanciée, peut alors être manipulé comme un objet et avoir des relations propres, comme avec une machine dès lors qu'il est monté dans le *Porte-outil*.

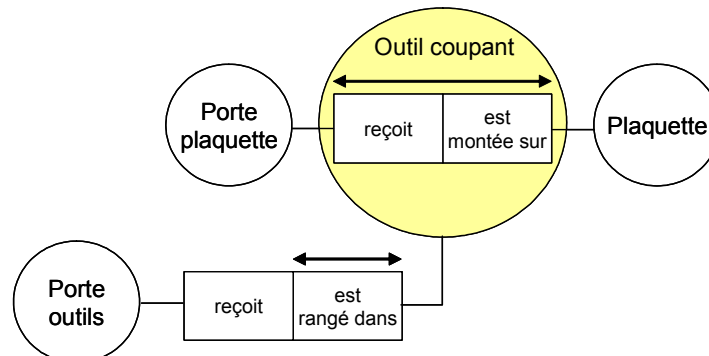


Figure 32 : Exemple d'objet émergent

Cet exemple est l'un des points de réflexion des travaux de [Million, 1998], ainsi que le mécanisme d'importation proposé par P.C.T.E. et que nous développons dans ce qui suit.

Ce mécanisme a été utilisé section 2.1.2.3 pour faire le lien entre les différents référentiels définis dans l'architecture D.M.M.S. Dans la pratique, nous avons considéré qu'il nous permettait de gérer des vues sur les objets. En effet, chaque schéma partiel SDS définit une sorte de vue sur la base d'objets. Pour permettre à plusieurs schémas de partager le même type, ce mécanisme consiste à « importer » un type d'un schéma dans un autre. Ce mécanisme de base permet dans le cadre d'une coopération D.M.M.S. des différents intervenants, l'intégration des vues des différents métiers de l'environnement de conception. En effet, un type d'objet peut être « vu » de différentes façons.

Ainsi, le schéma de travail (Working Schema : schéma de travail contenant les modèles formant la base de données) est défini comme la juxtaposition d'un ensemble de SDSs qui représentent une « vue » de la base d'objets.

Dans P.C.T.E., le mécanisme d'importation (Figure 33) permet, suivant le SDS chargé dans le Working Schema, d'avoir la notion de point de vue des objets et des attributs relatifs à l'objet.

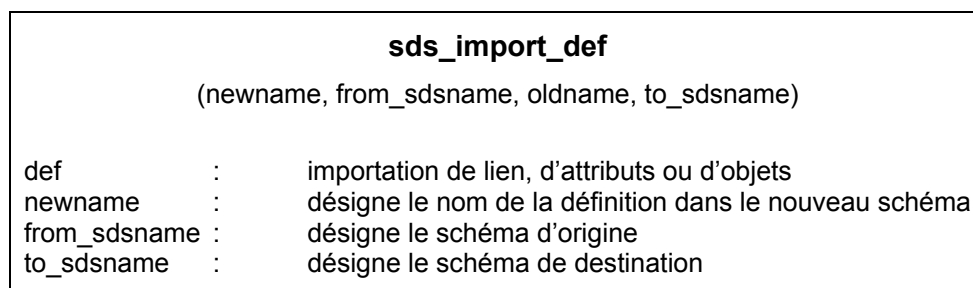


Figure 33 : Importation de type [Godart, 1992]

Ces premiers éléments de réponse ne sont pas suffisants. En effet, de conclure avec [Tabourier, 1986] à propos de Merise, mais également à propos de la plupart des méthodes de modélisation, que « ...Ce qui est théoriquement argumenté ici est un **encadrement des pratiques de conception** plutôt qu'une **méthode de conception** ». Aussi proposons-nous dans ce qui suit, la proposition d'une méthode de modélisation multi-points de vue supportée par un méta-modèle.

#### 2.2.3.4 La méthode V.I.M. (Viewpoints Information Modelling) [Million, 1998]

La méthode repose sur le fait qu'il faut expliciter l'interaction entre les besoins utilisateurs sur l'objet technique et le modèle de cet objet, soit en d'autres termes, expliciter l'interaction entre les modèles partiels représentant les besoins utilisateurs et le modèle général, de façon à répondre aux objectifs suivants :

- aborder stratégiquement l'analyse du domaine du problème, en procédant par l'identification des objets techniques communs entre plusieurs acteurs ayant des points de vue différents sur l'objet,
  - améliorer l'interaction entre les utilisateurs et le concepteur du modèle par une maîtrise de la sémantique du domaine étudié,
  - proposer un modèle de développement permettant la modélisation multi-points de vue des objets techniques,
  - permettre la décomposition de la conception du modèle global par une élaboration progressive de ce modèle exploitant les différentes expertises du domaine,
  - assurer la gestion de l'historique de conception du modèle afin d'être exploitable à travers les sous-modèles définis pour le construire et de le rendre évidemment évolutif en sachant où intervenir sur le modèle si un point de vue change ou apparaît.
- **Modélisation progressive par ajustement**

La démarche est basée sur une approche descendante et introduit progressivement les données dans un modèle de base. Elle est itérative, guidée par la structuration sémantique de la connaissance à modéliser sous forme de schéma sémantique. Ce dernier permet de représenter, par une structuration

simple et progressive, la connaissance à modéliser en termes de fragments de sémantique et de leurs dépendances (Figure 34).

A partir d'une modélisation globale des données du domaine, le schéma de sémantique est utilisé comme guide dans la démarche. Lors des itérations successives, à chaque fragment de sémantique est associé un sous-modèle dans lequel sont introduits les éléments de connaissance le concernant.

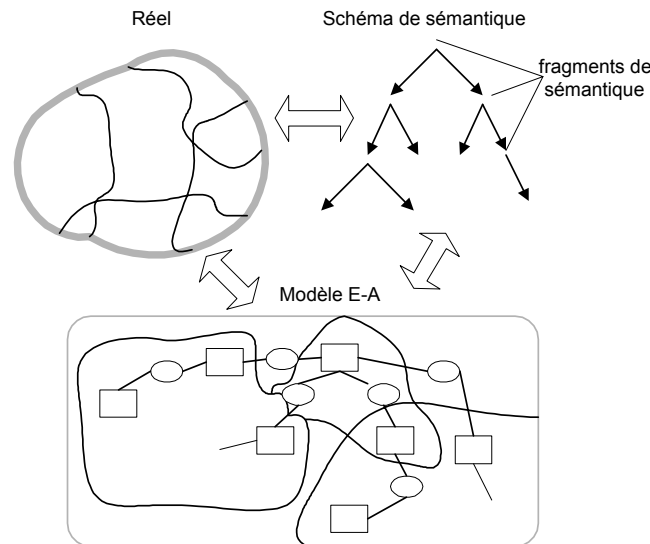


Figure 34 : Décomposition du réel dans ses représentations [Picavet, 1997]

Nous proposons de gérer cette complexité de façon organisée en partant de l'identification d'objet réel et des différents acteurs ayant besoin d'information sur cet objet. Cette étude de spécification nous permet d'identifier d'une part les concepts utilisés pour la modélisation de l'objet et d'autre part de déterminer les points de vues des utilisateurs (besoins en information vis à vis de l'objet modélisé) prenant ainsi en compte les fonctionnalités du système.

Pour éviter des conflits ou effets de bord qui pourraient avoir lieu lors de l'intégration des sous-modèles transformés dans le modèle initial, la démarche s'appuie sur le concept de « *pont* ».

Afin de ne pas manipuler l'ensemble du modèle à chaque phase d'enrichissement, un sous-modèle est déterminé puis enrichi et enfin replacé dans le modèle global. Cette étape d'extraction puis de réintégration de modèle partiel est guidée par le concept de « *pont* » représentant un fragment de sémantique.

En effet, à partir des nouvelles informations à inclure lors d'une itération, il est nécessaire de distinguer dans le modèle de données courant la partie à modifier de celle qui ne l'est pas. La frontière entre ces deux parties doit être stable dans la transformation. Elle est constituée d'éléments du modèle (entités dans le cas du modèle entité/association, classe dans le cas du diagramme de classes...) et est nommée « *pont* ». La stabilité de cette frontière garantit que les transformations sont limitées au sous-modèle sélectionné, ce qui permet de mettre en œuvre une démarche de type modulaire hiérarchique.

La Figure 35 présente la démarche proposée par [Million, 1997] qui est composée d'un processus incrémental et itératif, basée sur un processus d'ajustement [Picavet, 1997]. Elle déroule un certain nombre d'étapes :

- identification des éléments qui vont servir de base pour décrire le point de vue de l'acteur. Cette identification doit aboutir à la mise en relation des objets techniques de l'entreprise et des acteurs qui expriment un besoin d'information sur ces objets,

- conception d'un modèle initial des objets communs aux différents acteurs impliqués dans le processus de conception du système d'information. Ce modèle est le modèle initial à l'application de la méthodologie V.I.M.,
- construction du modèle final à partir du modèle initial par un processus de modélisation progressive par ajustement dans le cas où plusieurs acteurs sont identifiés comme potentiellement utilisateurs d'informations sur les objets.

Le concept de « pont » et ses mécanismes sont une aide à la conception de modèle de données. Afin d'être utilisés efficacement, leur gestion doit être intégrée dans un Atelier de Génie Logiciel (AGL). Nous proposons pour cela une définition plus formelle et la modélisation des concepts et règles associées puis leur intégration dans les méta-modèles, supports des processus de conception des modèles dans les AGL. Nous présentons dans ce qui suit les différents concepts au travers de leur méta-modélisation et de leur formalisation.

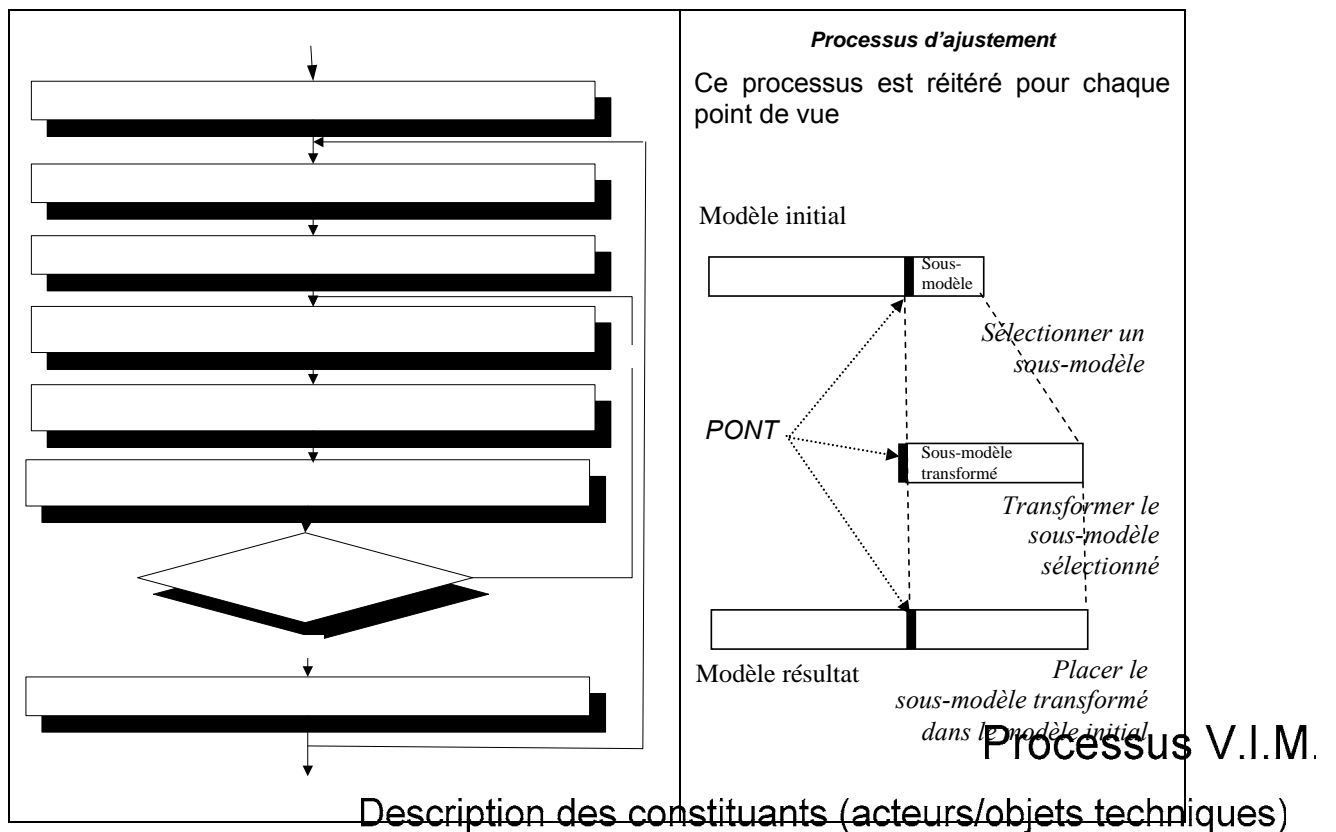


Figure 35 : Description du processus de conception d'un modèle de données d'un objet technique dans un contexte multi-points de vue

- **Meta-modélisation des concepts** Identification des objets techniques communs entre acteurs

1. Choix du sous-modèle

Afin d'expliciter les concepts de « pont » et d' « entité pont » qui sont au centre de la méthode, nous appliquons la démarche de modélisation progressive à l'enrichissement du modèle de données Entité-Association de l'AGL MEGA<sup>1</sup>. Nous considérons ce modèle (Figure 36) comme le modèle initial dans le cycle de modélisation progressive. La démarche consiste à définir un sous-modèle (un sous-modèle est une partie de modèle) puis de l'enrichir de nouveaux concepts etc... par l'étude du fragment sémantique auquel il se rattache. Dans notre cas, le modèle initial est le méta-modèle du modèle de données de MEGA et le fragment sémantique à étudier est nommé « méta-modélisation ».

<sup>1</sup> MEGA International : <http://www.mega.com/fr/>

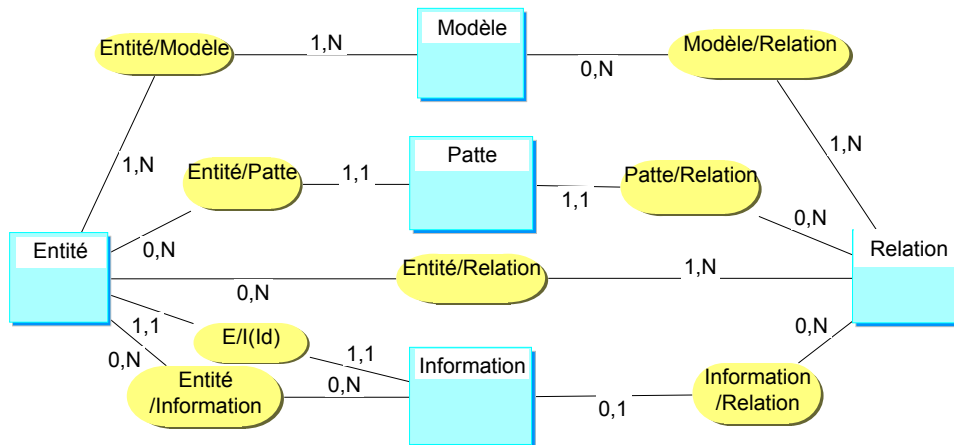


Figure 36 : Méta-modèle du modèle de données Entité-Association de MEGA

Un modèle de données est constitué d'éléments qui sont : les *entités*, les *relations*, les *pattes*, les *informations*.... Ce sont les principaux concepts du méta-modèle du modèle de données.

La modélisation progressive fait appel à la manipulation des éléments du modèle en particulier les *entités*, *relations*, *pattes*, et à la notion de *modèle* auquel ces constituants sont rattachés. C'est pourquoi le sous-modèle pertinent pour la modélisation du fragment sémantique « méta-modélisation » est composé des éléments nécessaires à la définition du concept de « *pont* » et d'« *entité pont* », soient les concepts suivants : *entité*, *relation*, *patte*, et *modèle*, et des relations existantes entre ces concepts. Ce sous-modèle, extrait du modèle de la Figure 36, est donné Figure 37.

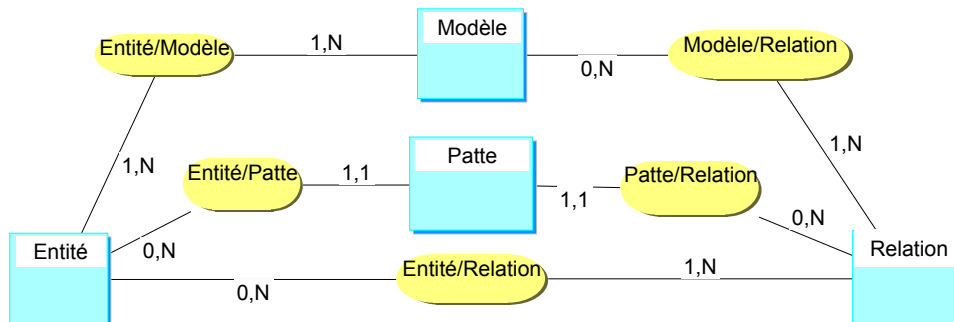


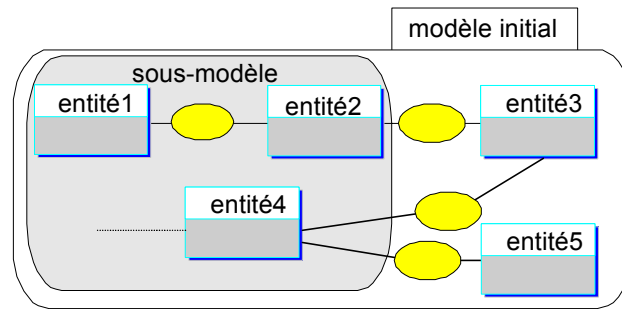
Figure 37 : Sous-modèle du méta-modèle de données de MEGA

## 2. Pont et entités ponts

Déterminer un sous-modèle nécessite de choisir une partie d'un modèle. Le lien entre cette partie et son tout est une frontière dans la démarche de modélisation progressive. Cette frontière est constituée uniquement d'entités et nous l'appelons « *pont* ». Par extension, les entités qui composent un pont sont appelées des « *entités ponts* ».

Un « *pont* » est donc le moyen de réintégrer, dans son modèle initial, un sous-modèle après sa transformation. Celle-ci se traduit par un ajout d'entités et de relations dans le sous-modèle, de définitions de sous-types, de modifications des entités et/ou des relations initiales... Quelque soit la transformation, elle ne doit pas modifier la frontière afin de pouvoir replacer le sous-modèle transformé dans son modèle de départ. Un « *pont* » est donc constitué uniquement d'entités qui ne seront pas modifiées lors d'une transformation.

Pour qualifier une entité d'« *entité pont* », lors du choix d'un sous-modèle, il suffit de trouver les entités du sous-modèle qui gardent une ou des relations avec le modèle initial. L'exemple Figure 38 illustre cette règle.



le pont est ici constitué de deux entités : **entité2 et entité4**

Figure 38 : Détermination des entités ponts

Dans notre cas, le sous-modèle du méta-modèle de données (Figure 37) présente une frontière constituée des « entités ponts » suivantes : *entité* et *relation*. Ces deux entités forment donc un « pont » qui relie ce sous-modèle au modèle initial dont il est issu.

Nous pouvons énoncer la règle suivante :

Les entités du modèle initial, qui sont incluses dans le sous-modèle et qui gardent une ou des relations avec d'autres entités du modèle initial non incluses dans le sous-modèle, deviennent des entités ponts. Une propriété essentielle de ces entités ponts est qu'elles sont invariantes par transformation.

### 3. Représentation formelle

La méta-modélisation concerne l'analyse d'un modèle dans le but d'en spécifier clairement ses concepts. Le méta-modèle d'un modèle est le résultat de cette analyse. Dans le paragraphe précédent nous avons présenté les concepts de la démarche de modélisation progressive sous forme d'exemple. Afin d'éviter toutes ambiguïtés dues à la sémantique du discours, nous proposons une représentation sous forme d'ensemble du méta-modèle du modèle de données, où tous les éléments de ce modèle et leurs interactions sont décrits.

Nous utilisons donc la représentation mathématique ensembliste pour définir une représentation formelle des concepts de la démarche. Le choix de cette représentation est guidé par le fait que c'est la manipulation des divers éléments des modèles qui fait émerger les concepts de « pont » et d'« entité pont ». De plus les règles de détermination des entités ponts sont formellement décrites afin d'être utilisées dans un AGL.

Définition : un modèle de données est un ensemble  $M$  constitué des sous-ensembles suivants :

- $E$  ensemble des entités
- $R$  ensemble des relations
- et  $P$  ensemble des pattes, et possède les propriétés suivantes :

$L1$  : chaque relation possède au moins deux pattes

$L2$  : chaque patte est en relation avec une unique entité et une unique relation.

Une représentation ensembliste du modèle de données peut être la suivante :

$E = \{e_1, e_2, \dots, e_q\}$  ensemble des entités,  $R = \{r_1, r_2, \dots, r_n\}$  ensemble des relations,  
 $P = \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$  ensemble des pattes, ( $q, n, m \in \mathbb{N}^*$ )

$M$  : ensemble des pattes, relations et entités, soit  $E \neq \emptyset$  alors  $M = R \cup P \cup E$

Soit  $S$  la relation symétrique dans  $M$  de lien verbal « est liée à »,  $M$  vérifie les deux propriétés suivantes :

$L1$  :  $\forall k \in \{1, \dots, n\}, \exists i, j \in \{1, \dots, m\}, i \neq j \mid (r_k S p_i) \wedge (r_k S p_j)$ ,

et

$$L2 : \forall k \in \{1, \dots, m\}, \exists!(i, j) \in \{1, \dots, q\} \times \{1, \dots, n\} \mid (p_k S e_i) \wedge (p_k S r_j)$$

Remarque :

Définir une relation binaire c'est

1° se donner deux ensembles A et B, l'un appelé ensemble de départ ou « source », l'autre ensemble d'arrivée ou « but ». On dit qu'une relation définie sur un ensemble E est symétrique pour exprimer que chaque fois qu'un couple (x, y) de  $E^2$  appartient au graphe de la relation alors le couple (y, x) lui appartient aussi. Autrement dit, chaque fois que  $xRy$  alors on a  $yRx$ .

2° un lien verbal, c'est à dire un énoncé (e) tel que, si x et y sont respectivement un élément de A et un élément de B, à la question « x est-il lié à y par l'énoncé (e) » on peut répondre sans ambiguïté par oui ou par non.

Un sous-modèle est donc défini par :  $SM = R' \cup P' \cup E'$  avec  $R' \subset R, E' \subset E (E' \neq \emptyset), P' \subset P$  tels que L1 et L2 restreintes sur  $R', E', P'$  soient vérifiées.

Chaque sous-modèle SM possède une frontière appelée pont avec un modèle initial. Un pont est, comme nous l'avons vu, un ensemble d'entités qui définissent cette frontière. Ces entités ont la particularité de participer à d'autres relations (avec le modèle initial) que celles qui sont prises en compte dans le sous-modèle.

Si  $e_k \in E' \wedge \exists p_j \in P \setminus P' \mid (p_j S e_k)$  alors  $e_k$  est une entité pont ( $k \in \{1, \dots, q\}, j \in \{1, \dots, m\}$ ).

Un pont noté  $Po$  est l'ensemble des entités ponts :  $Po = \{e_k \in E' \wedge \exists p_j \in P \setminus P' \mid (p_j S e_k)\}$  avec  $Po \subset E'$  et  $Po \neq \emptyset$ , soit pour un sous-modèle  $SM = R' \cup P' \cup Po \cup E' \setminus Po$ .

Nous avons montré l'existence de trois ensembles à savoir :

- l'ensemble sous-modèle,
- l'ensemble entités ponts, sous-ensemble de l'ensemble entité,
- l'ensemble pont,

sachant qu'une « entité pont » **est un type** d'entité, un « pont » **est un ensemble** d'« entités ponts » qui délimitent un sous-modèle qui **est une partie** d'un modèle.

#### 4. Intégration des concepts dans le méta-modèle de données

Dans l'étude précédente, nous avons décrit formellement le concept de « pont » en faisant apparaître le sous-ensemble  $Po$  qui représente l'ensemble des entités ponts. Celles-ci sont définies lors de l'extraction d'un sous-modèle et représentent une catégorie particulière d'entité qui possède comme caractéristique discriminante par rapport aux autres entités une stabilité par rapport aux transformations. Une « entité pont » représente un concept permanent lors d'une itération dans la démarche de modélisation.

Dans l'idée de gérer ces concepts au niveau d'un AGL tel que MEGA, on peut enrichir le sous-modèle extrait du méta-modèle du modèle de données, en ajoutant les concepts de « pont » et d'« entité pont » tels que nous les avons développés.

Pour compléter le modèle de données de MEGA nous modélisons les points suivants :

- « un sous-modèle **est une partie** d'un modèle » : création d'une relation réflexive (patte dans le discours Mega) sur l'entité MODELE,
- « une entité pont **est un type** d'entité » : création de l'entité ENTITE PONT sous-type d'ENTITE,
- « un pont **est un ensemble** d'entités ponts » : création de l'entité PONT,
- « un pont **est un ensemble** d'entités ponts » : création de la relation entre ENTITE PONT et PONT,
- « un pont **définit** un sous-modèle » : création de la relation entre MODELE et PONT.



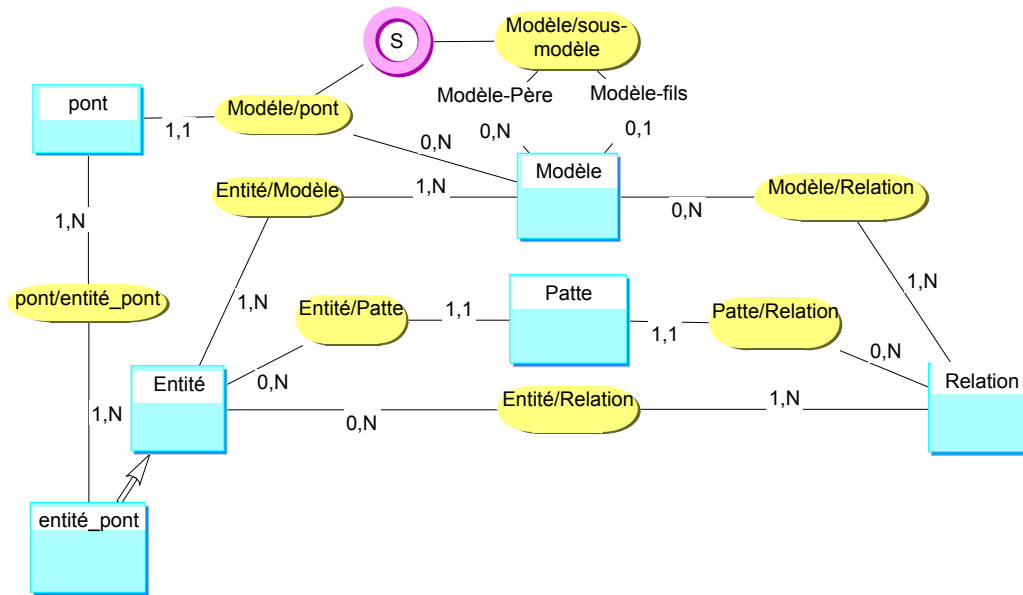


Figure 39 : Enrichissement du sous-modèle du méta-modèle du modèle de données de MEGA

Nous avons mis en œuvre la méthode de modélisation progressive par ajustement, afin d’enrichir le méta-modèle du modèle de données de Mega des concepts de cette démarche. En effet, les phases d’identification d’un fragment sémantique (ici « méta-modélisation »), de sélection d’un sous-modèle (Figure 37), d’analyse (représentation formelle) puis de modélisation du fragment sémantique (Figure 39) ont conduit à l’extension du modèle de données. La dernière phase, qui s’appuie sur le concept de pont, est la réintégration du sous-modèle dans le modèle de départ. Nous aboutissons au modèle final suivant (Figure 40).

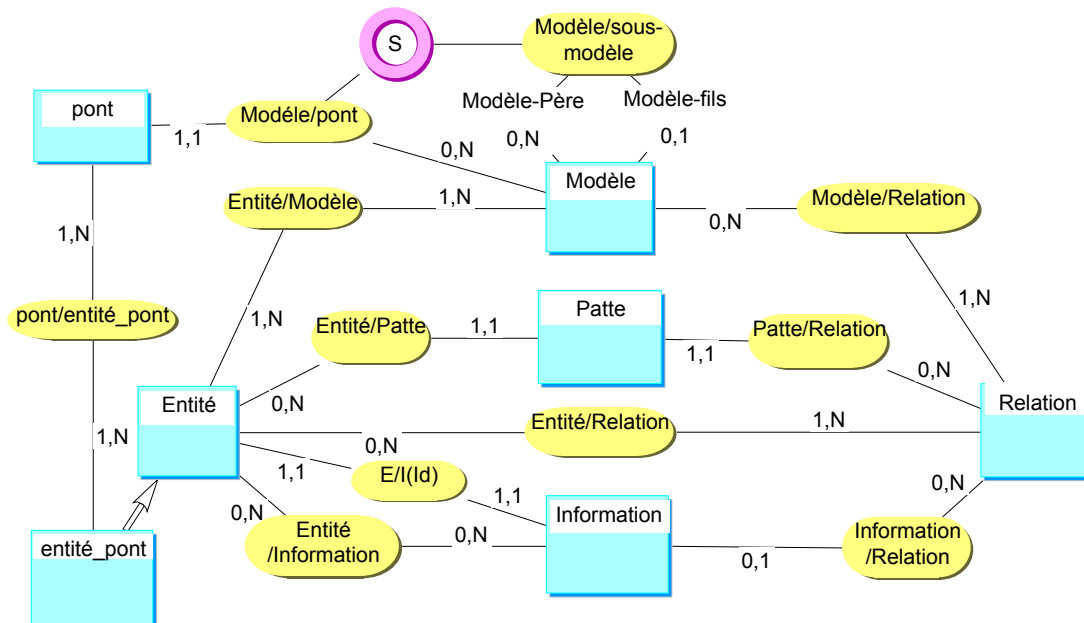


Figure 40 : Méta-modèle final

Ce méta-modèle constitue une étape dans la modélisation du processus de la démarche de modélisation progressive par ajustement. Il permettra de gérer avec l’outil les concepts introduits par la démarche comme les autres concepts utilisés dans le langage de modélisation. Il ne s’agit que d’une méta-modélisation partielle de la démarche, pour plus de détail se référer à [Million, 1998]. Toutefois, cette méta-modélisation permet d’explicitier les concepts utilisés et constitue la phase initiale de l’implémentation de la démarche dans un AGL.

Dans le soucis d'avoir un modèle générique, standard pour la modélisation des applications logicielles, nous nous basons sur l'extrait du méta-modèle du diagramme de classes proposé par [Muller, 1997] dans le langage UML (Unified Modeling Language) et proposons ainsi, Figure 41, l'intégration des concepts au niveau du méta-modèle du diagramme de classes.

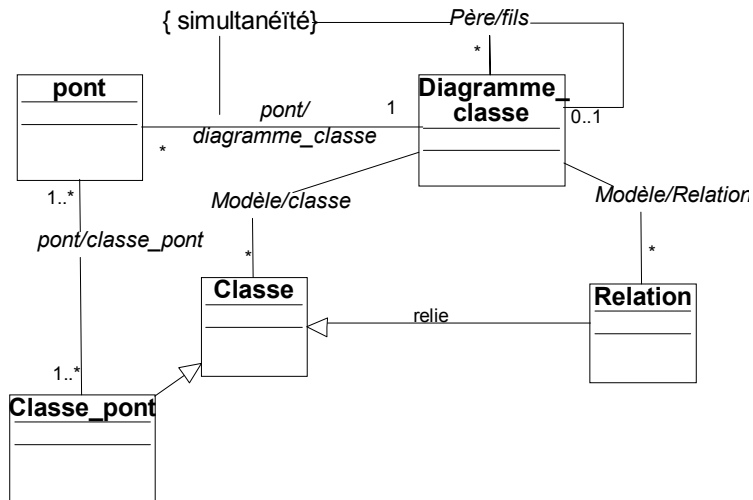


Figure 41 : Intégration des concepts au niveau du méta-modèle du diagramme de classes

### 5. Concept commun entre points de vue

En appliquant la même démarche que pour la modélisation du concept de « *pont* », nous introduisons l'idée de concept « *commun* » entre points de vue. Un concept « *commun* » est un concept d'un langage de modélisation représentant un élément de l'univers du discours partagé par plusieurs acteurs. Par exemple, le concept « *entité* » du modèle E-A peut être un concept « *commun* » entre points de vue s'il fait partie d'au moins deux sous-modèles

Nous ne reprenons pas entièrement le processus de modélisation suivi pour la démonstration de l'insertion du concept de « *pont* » dans les méta-modèles des modèles de données. Nous énonçons simplement la formalisation de la notion de concept commun à l'aide de la représentation ensembliste et de sa représentation dans la structure générique d'intégration des concepts de la démarche.

L'idée sous-jacente au concept commun est de donner au concepteur de modèles de données, la possibilité d'identifier quels sont les concepts d'un sous-modèle issus de la modélisation d'un autre point de vue. Ces concepts se distinguent des autres par leur appartenance à au moins deux sous-modèles sans être des « *concepts ponts* » (Figure 42).

La représentation formelle peut s'énoncer de la façon suivante :

- soit  $M$  le modèle global et  $SM_i$   $i \in \{1, \dots, t\}$ ,  $t \in \mathbb{N}$  (ensemble des entiers naturels) les sous-modèles définis sur  $M$ .
- soit  $Po_i$   $i \in \{1, \dots, t\}$ ,  $t \in \mathbb{N}$  les « *ponts* » qui délimitent les sous-modèles  $SM_i$

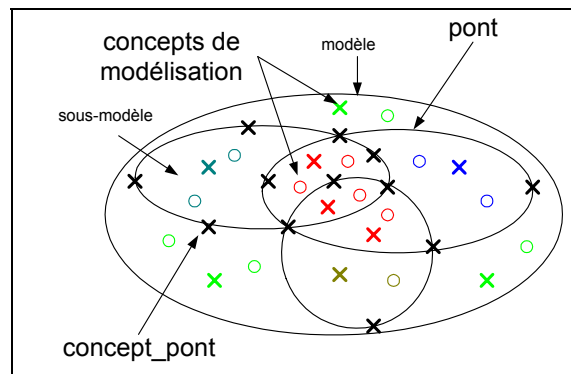
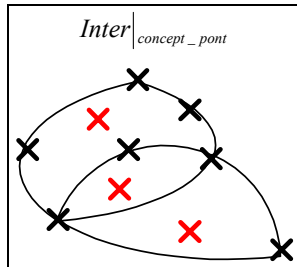
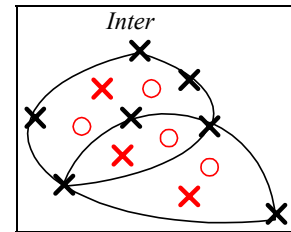


Figure 42 : Ensemble et sous-ensembles

Définissons l'ensemble des éléments communs entre sous-modèles comme les éléments appartenant aux intersections deux à deux des sous-modèles noté  $Inter = \bigcup_{\substack{i=1,\dots,t-1 \\ j=1,\dots,t-i}} (SM_i \cap SM_{i+j})$ .



Tous les éléments communs ne nous intéressent pas, en effet seul le concept choisi pour représenter les éléments constituant d'un « pont » (concept « entité » pour le modèle E-A, concept « classe » pour le diagramme de classes) est pris en compte dans ces intersections pour des raisons de simplification et de cohérence de la méthode. Nous définissons cet ensemble comme la restriction de l'ensemble *Inter* au concept choisi pour représenter les éléments constituant d'un « pont » que nous notons  $Inter|_{type\_pont}$ .

L'ensemble des concepts communs, noté *Co*, est constitué par les éléments de l'ensemble  $Inter|_{concept\_pont}$  qui ne sont pas des éléments constituant de « pont », formalisé par

$$Co = \left\{ \bigcup_{\substack{i=1,\dots,t-1 \\ j=1,\dots,t-i}} (SM_i \cap SM_{i+j}) \setminus \bigcup_{i=1,\dots,t} (Po_i) \right\}_{type\_pont}$$

qui se lit : ensemble des éléments, restreint au type d'élément choisi pour représenter les « ponts », de l'intersection deux à deux des sous-modèles privé de l'ensemble des éléments constituant les « ponts » frontières des sous-modèles avec le modèle global.

L'intégration de la notion de « concept commun » se traduit au niveau de la structure générique par l'ajout d'un sous-type de l'entité « Concept appelé » « Concept\_commun » et dont une représentation est donnée Figure 43.

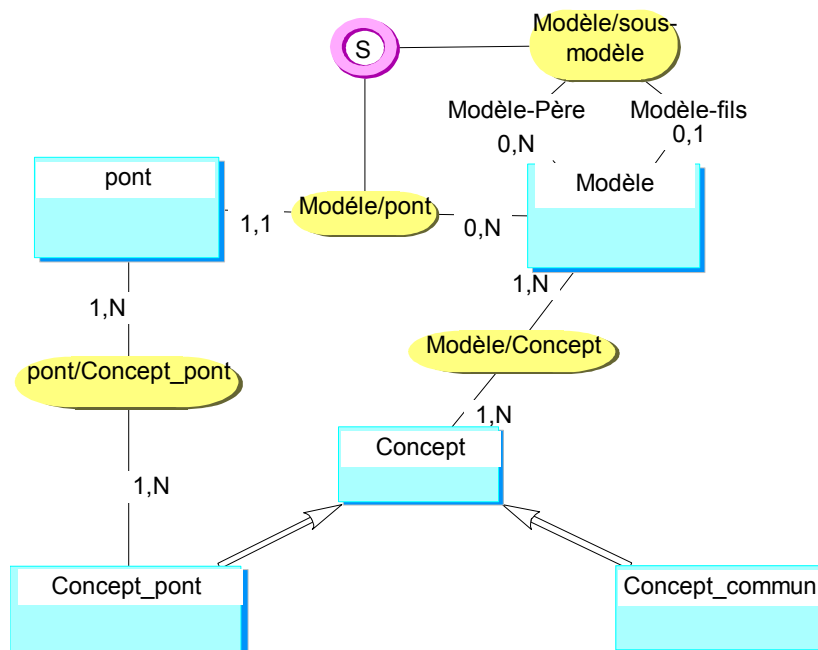


Figure 43 : Intégration de la notion de Concept\_commun

Nous avons montré et formalisé dans cette partie comment intégrer les concepts de modélisation progressive par ajustement de la méthode V.I.M. dans les principaux langages de modélisation de données en vue de respecter l'objectif d'indépendance aux langages de modélisation.

Nous présentons, sans la détaillée, la formalisation de la méthode V.I.M., au travers de son modèle statique (Figure 44) et dynamique (Figure 45), les éléments nécessaires à la modélisation des concepts qui permettent de décrire les phases nommées :

- description des acteurs et qui introduit en particulier les notions d'acteur, d'objet technique et de point de vue,
- description des objets techniques et qui introduit la notion de représentation et de caractéristique,
- description du système en mettant en évidence le mécanisme d'abstraction conceptuelle consistant à passer de l'univers du discours à la méthode conceptuelle proposée.

Le modèle dynamique (Figure 45) permet de décrire les phases à respecter pour appliquer la méthode. Dans un souci de cohérence avec le modèle utilisé pour la modélisation des concepts de la méthode, à savoir le modèle conceptuel de données de l'approche Entité-Association, nous appliquons pour la formalisation de la démarche, le modèle conceptuel de traitement de l'approche Entité-Association.

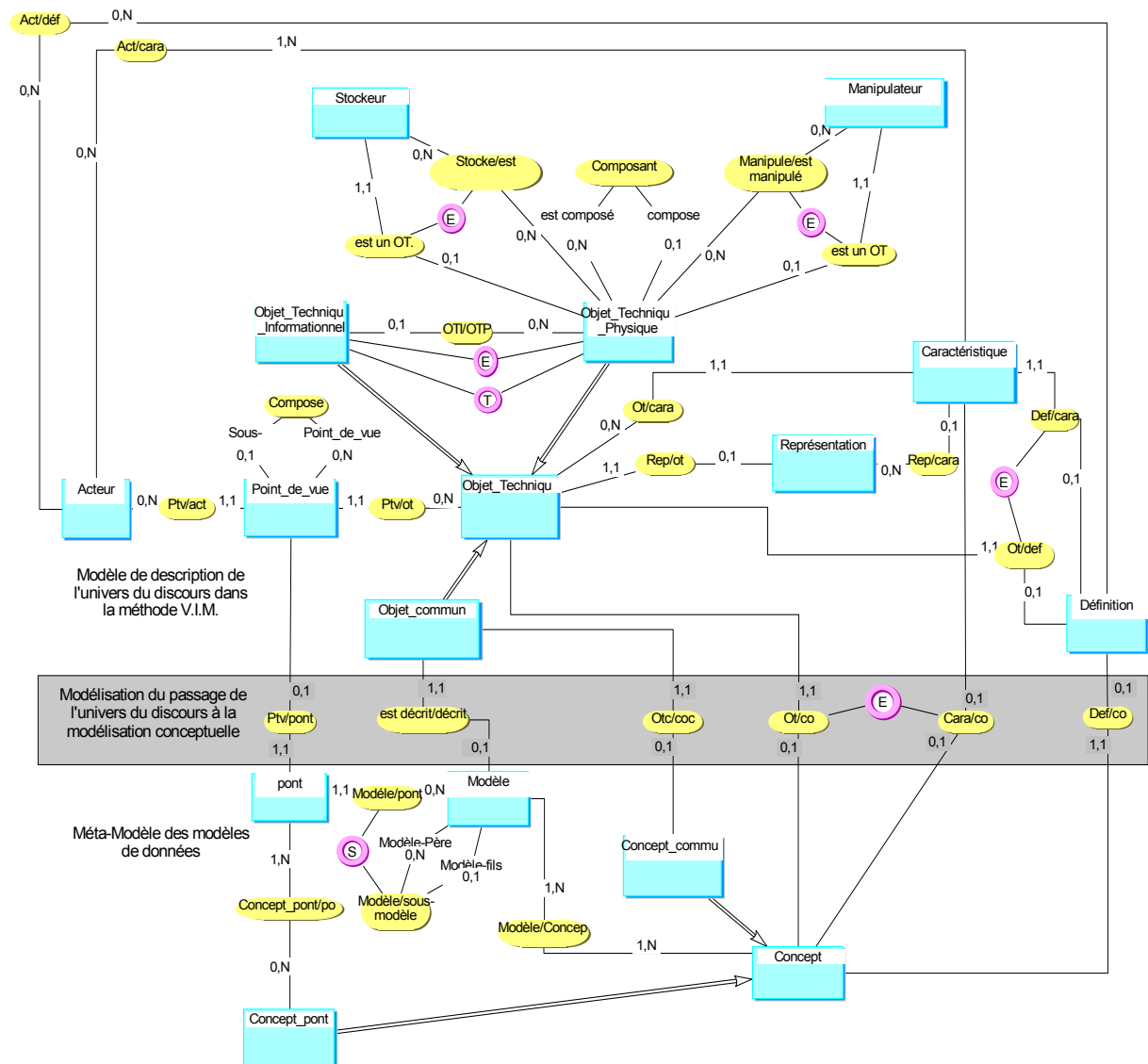


Figure 44 : Modèle statique de la méthode V.I.M.

Les phases de la méthode sont représentées par des procédures qui sont des suites de traitements (opérations) d'information véhiculées par des messages. Les parties du modèle de données de la méthode accompagnent chaque opération, montrant ainsi le support sur lequel les traitements sont réalisés.

La démarche est composée de trois phases. La première phase dite de *description du système* consiste à identifier les objets techniques, les acteurs et les objets techniques communs à plusieurs acteurs. Cette phase permet l'*initialisation de la modélisation* par la création du modèle conceptuel d'objet technique commun qui est ensuite *ajusté* par les points de vue des acteurs aboutissant ainsi au modèle conceptuel de données d'objets techniques multi-points de vue.

Ces phases sont accompagnées par une opération de modélisation sémantique dont les objectifs sont :

- de gérer une représentation, indépendante des langages de modélisation, des objets techniques et de leurs caractéristiques,
- de préciser le sens des concepts des modèles (ce qu'ils représentent).

Les travaux de [Million, 1997] proposent également de gérer l'évolution de ce modèle conceptuel de données. Nous évoquerons cet aspect dans la section 2.2.4.

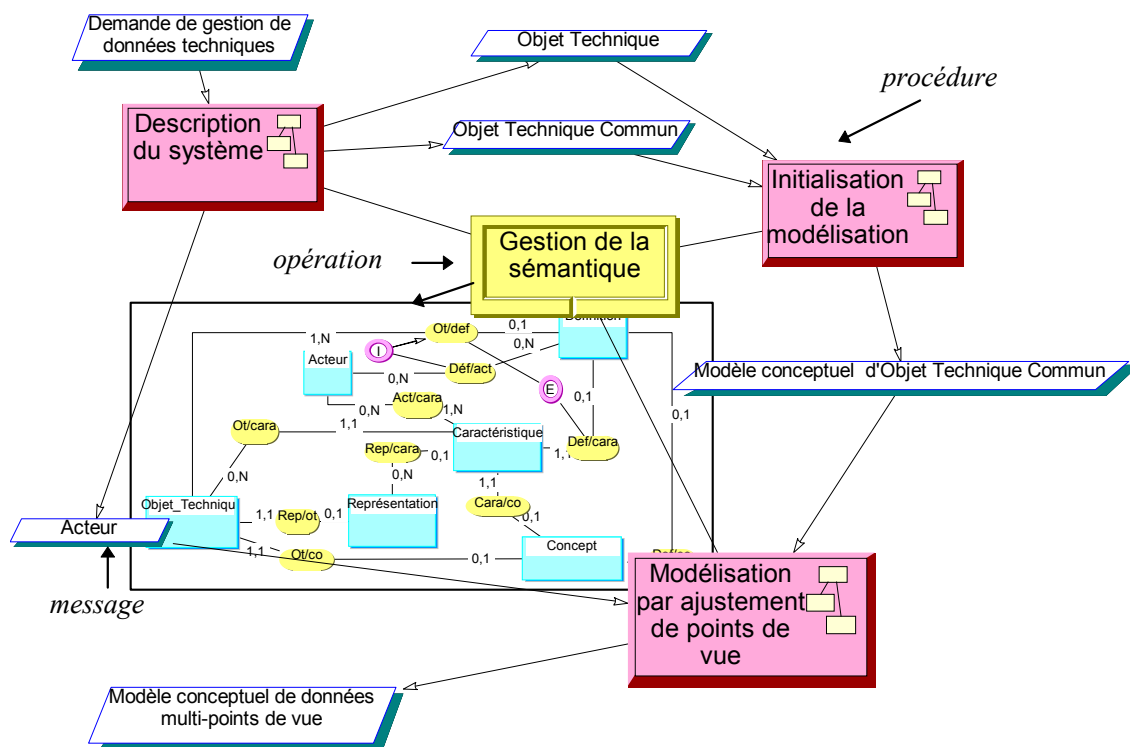


Figure 45 : Modèle global de mise en oeuvre de V.I.M.

### 2.2.3.5 V.I.M. : bilan

Pour concevoir des modèles adaptés à l'intégration d'un ensemble d'acteurs, il est nécessaire d'appliquer une méthode de conception de modèles conceptuels de données.

Des méthodes telles que la méthode préconisée dans le cadre du projet D.M.M.S., basée sur la fédération d'outils logiciels hétérogènes, ou telles que celles présentées section 2.2.1.2, basées sur des modèles [Harani, 1997], [Noël, 2003] qui proposent d'associer le concept de « *représentation* » ou de « *point de vue* » au concept de « *produit* », ne sont pas satisfaisantes. Les standards de modélisation comme UML ne correspondent pas non plus à nos besoins car même si les cas d'utilisation proposent d'étudier le modèle selon différents points de vue, il n'existe pas de mécanisme de granularité fine pour intégrer les points de vue des acteurs au cœur de la modélisation dans les diagrammes de classes.

Donc, en vue de couvrir un spectre plus large que l'intégration d'application logicielle nous avons étudié la modélisation conceptuelle de données en mettant au cœur l'objet technique à modéliser et les acteurs de son cycle de vie.

Aussi pour pallier aux classiques problèmes de polysémie, synonymie de données, ainsi qu'aux conflits de représentation, nous nous sommes focalisés sur la modélisation multi-points de vue des objets techniques communs entre acteurs dont les apports attendus se situent :

- dans le cadre de la conception de modèles conceptuels par la détermination et la formalisation de mécanismes et de processus de modélisation multi-points de vue d'objets techniques conduisant pour chaque objet à un modèle unique porteur de tous les point de vues,
- dans le cadre de l'évolution de modèles conceptuels par l'identification de parties d'un modèle unique représentant différents points de vue sur un objet technique, afin de faire évoluer le modèle global si des points de vue changent.

Dans ce cadre, nous avons proposé la méthode V.I.M. Cette méthode propose, pour la modélisation conceptuelle des données d'objets techniques communs entre acteurs, une démarche modulaire par ajustement progressif de points de vue.

Nous avons formalisé la méthode par modélisation des concepts de la méthode et par extension des méta-modèles des principaux modèles de données.

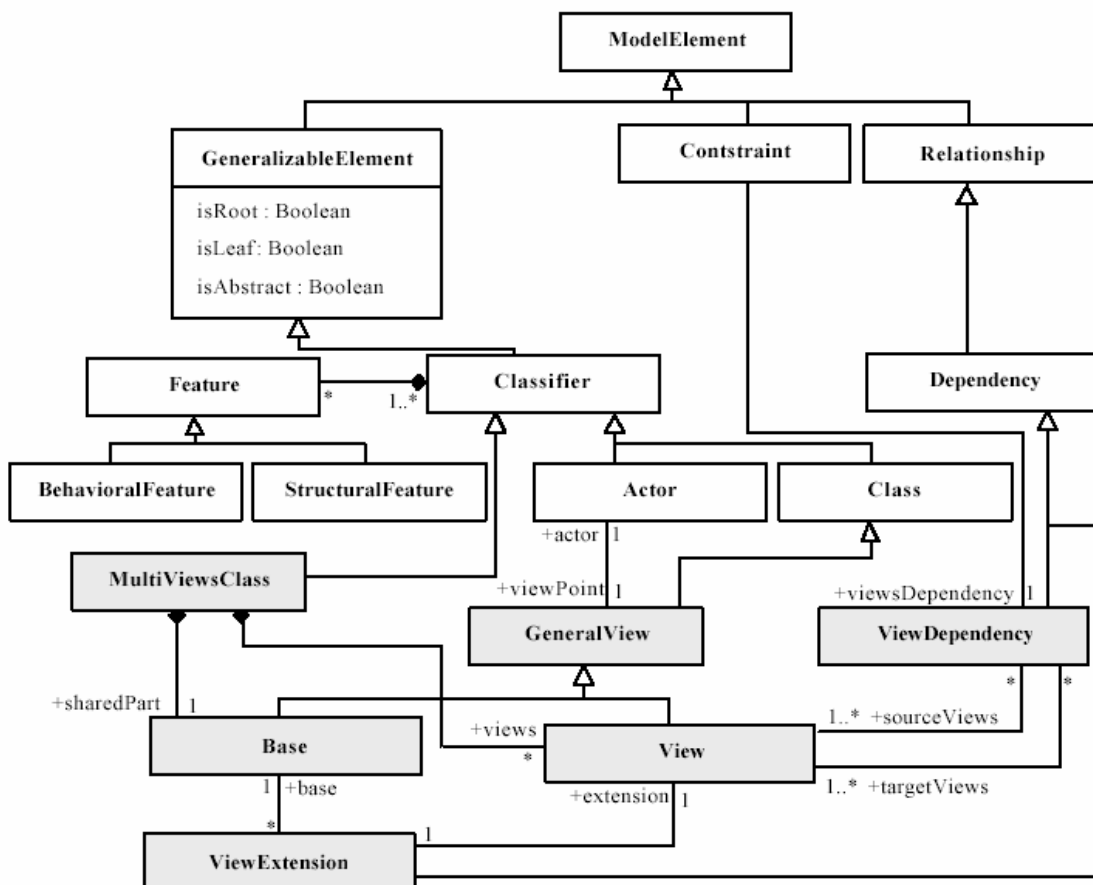


Figure 46 : Fragment du méta-modèle associé au profil VUML

Nous pouvons rapprocher ces travaux de ceux de [Nassar, 2004] qui propose une méthodologie d'analyse/conception dont le noyau est un profil UML, appelé VUML (View based Unified Modelling Language) et qui supporte la construction de composants de conception multi-vues. VUML offre la

notion de « *classe multi-vues* » qui est constituée d'une base et d'un ensemble de vues spécifiques reliées à la base par une relation d'extension. Elle permet de stocker et de restituer l'information selon le profil de l'utilisateur. L'extrait de ce méta-modèle présenté Figure 46 montre qu'une « *classe multi-vues* » est composée d'une classe de base et d'un ensemble de vues. Ces dernières sont reliées à la base via une relation de dépendance particulière (extension) et peuvent être également reliées à d'autres vues par des relations de dépendances classiques (pour gérer la cohérence). Chaque vue est associée à un acteur unique.

Ces travaux, bien qu'orientés développement de logiciel, sont toutefois à rapprocher des éléments de réponses à proposer dans le cadre de ceux entrepris sur la définition d'une méthodologie pour la modélisation de configuration dans les outils de PLM. Cette problématique fait l'objet de la thèse CIFRE de Souheil ZINA (section 1.3.2) avec la société LASCOM Technology.

Liste de mes principales publications : [A. 13], [C. 22], [C. 28], [C. 30], [D. 9], [D. 10]
---

**2.2.4 Démarche orientée relations (traitements) entre données multi-points de vue**

La méthodologie présentée section 2.2.3 a été utilisée dans le cadre de sa propre méta-modélisation mais également validée au travers de la modélisation des outils coupants pour le centre d'usinage de l'AIP Lorrain (Atelier Inter-établissements de Productique) [Million, 1998].

Nous avons décidé d'utiliser cette méthodologie dans un cadre différent pour la modélisation d'objets informationnels.

En effet, cette application trouve son origine dans la problématique soulevée par le projet USIQUICK (présentation section 1.2.8) qui propose de rétablir le lien sémantique entre les acteurs de la conception et de la préparation à la fabrication (Figure 47) dans le contexte particulier de pièces aéronautiques. En effet, ces phases ayant été informatisées et automatisées indépendamment, il s'est créé un vide entre ces deux étapes du cycle de vie du produit. L'informatisation du processus a fait perdre entre autre l'« intention » de l'acteur humain et qui n'est modélisée par aucun artefact en conception, par exemple.

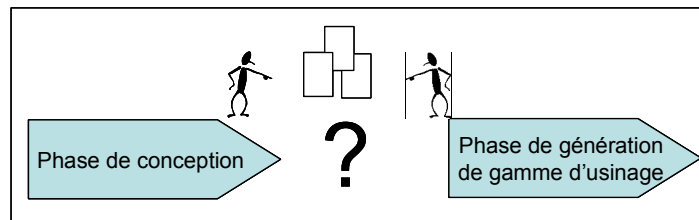


Figure 47 : Lien sémantique entre conception et préparation de gamme d'usinage

Plus particulièrement, le projet USIQUICK propose une méthodologie pour la gamme automatique. [Derigent, 2005] propose d'utiliser le concept d'entité élémentaire défini par [Capponi, 2005] comme élément pivot entre ces deux étapes. Ainsi, il nous est possible d'envisager le rétablissement du lien sémantique par l'ajout d'un Transformateur au sens USIQUICK. Aussi est-il vu comme un savoir-faire permettant de générer une description du produit, adaptée à la génération de gamme automatique d'usinage, à partir de son modèle CAO. La Figure 48 présente les trois modules du projet USIQUICK. Au contraire des modules de la conception et du module de la génération de gamme d'usinage où les informations manipulées pré-existent, le transformateur est au départ un cahier des charges qu'il est convenu de réaliser pour assurer la fonction souhaitée. Aussi, nous considérons cette démarche de modélisation des données supportant le transformateur comme étant couplée à un processus itératif permettant de développer des algorithmes en vue de la réalisation du problème de transformation. Les données émergent donc des traitements mis en place. Mais nous ne sommes pas loin des préconisations prônées par la méthode MERISE [Tabourier, 1986] consistant à étudier conjointement les vues statique et dynamique d'un problème.

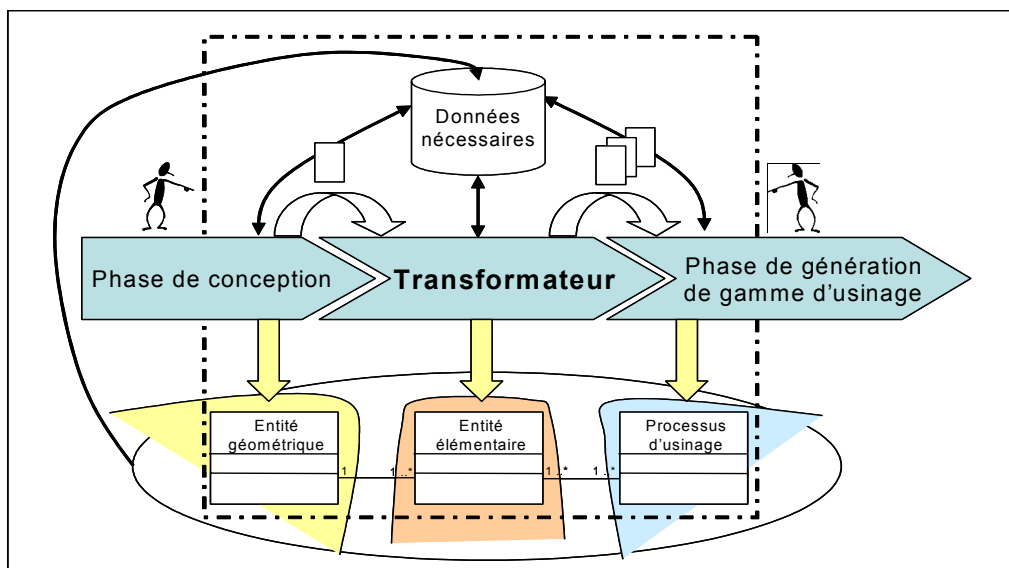


Figure 48 : Déploiement de la méthodologie V.I.M. sur l'architecture USIQUICK. Modèle initial



De plus, la Figure 48 met en évidence le modèle initial commun au trois points de vue que nous développons dans ce qui suit. C'est à partir de ce modèle initial qu'il s'agit d'ajuster les points de vue au travers de la méthodologie V.I.M. Le processus d'ajustement est séquentiel : chaque acteur « logiciel » et son point de vue sont considérés l'un après l'autre.

En résumé, il s'agit d'associer un processus d'usinage à une entité élémentaire d'usinage. La définition de l'entité d'usinage, adaptée de [GAMA, 1990], adoptée par le consortium USIQUICK est la suivante :

*Une entité élémentaire est composée d'une ou plusieurs faces élémentaires dont les frontières sont figées. Elle est associée à au moins un processus d'usinage de finition, identifié et validé, et quasi indépendant des autres processus.*

#### 2.2.4.1 Présentation des acteurs « logiciels » et ajustement du modèle initial

Nous qualifions de « logiciels » les acteurs car ceux-ci sont informatisés. Il n'est pas dans les objectifs du projet RNTL de travailler sur les « intentions » des acteurs, remettant probablement en cause l'informatisation de la fonction de l'acteur, mais plutôt de travailler sur l'établissement d'un lien sémantique entre les étapes concernées.

- **Point de vue du concepteur**

Le point d'entrée du transformateur USIQUICK est une description de la pièce en modélisation B-Rep [Ris, 2003], [Shah, 1995] proposée par un modelleur CAO. Ce modèle est constitué de deux grandes classes d'éléments : les éléments topologiques et les éléments géométriques. De manière simplifiée, les éléments topologiques sont des restrictions d'éléments géométriques. Ainsi, par exemple, l'élément topologique *face* est une restriction de l'élément géométrique *surface* (Figure 49). Ces éléments topologiques peuvent être assemblés pour former un solide. Traditionnellement, dans les modèles CAO, les trois éléments topologiques (*face*, *arête*, et *sommet*) sont reliés aux trois éléments géométriques (*surface*, *courbe* et *point*).

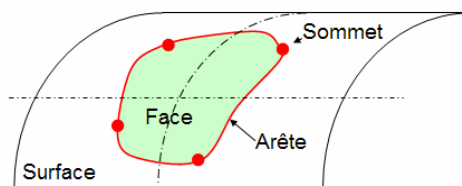


Figure 49 : Une face (élément topologique) et sa surface support

Habituellement, la structure de données qui mémorise l'objet est une structure hiérarchisée où l'objet est décomposée en faces qui sont représentées par leurs arêtes frontières limitées par leurs sommets extrémités. En plus de ces éléments de base et des relations qui les lient, d'autres informations géométriques comme les équations des courbes et des surfaces, ainsi que les coordonnées des sommets sont présentes dans le modèle. Chaque modelleur CAO a sa propre structure de données. Aucune structure n'est identique à une autre. Cependant, généralement on retrouve les concepts décrits (Figure 50).

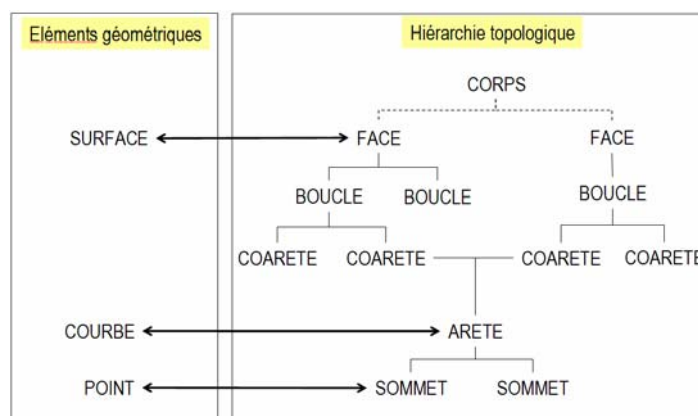


Figure 50 : Un exemple de structuration des données B-Rep

Aussi, les concepts présentés précédemment sont explicités Figure 51. Notons que seul le concept « *entité géométrique* » est pont dans cette partie d'ajustement. Cette modélisation est à rapprocher de l'AP 203 de STEP, part 42 [ISO 10303-42].

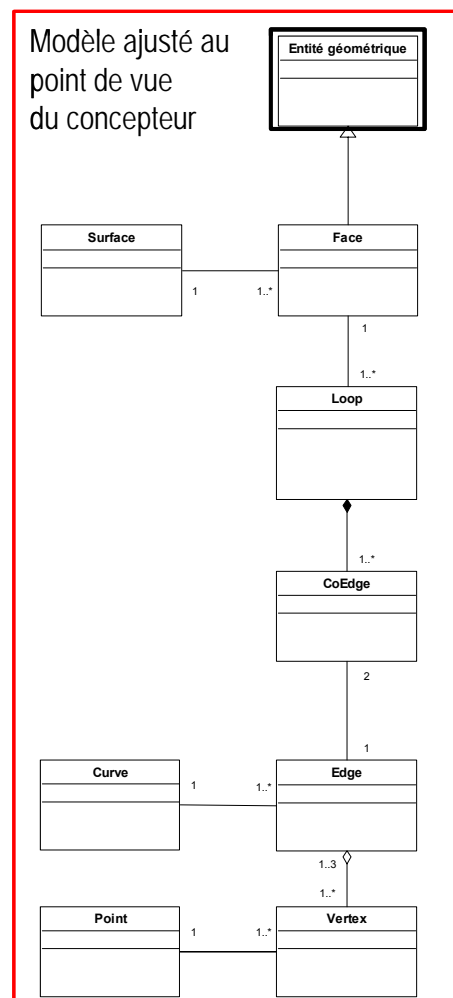


Figure 51 : Modèle ajusté au point de vue du concepteur

Par contre, le modèle B-Rep ne contient pas toutes les informations nécessaires à la construction des entités élémentaires. Des informations géométriques (type de surface, rayon de courbure minimum,...) ou technologiques (accès d'usinage) doivent venir enrichir cette description, afin que chaque face du modèle B-Rep puisse être transformée en une ou plusieurs entités élémentaires. Aussi, nous définissons le point de vue du préparateur au préalable du point de vue du transformateur. En effet, rappelons que le transformateur est à la jointure entre les points de vue du concepteur et du générateur de gamme.

- **Point de vue du préparateur**

Le rôle du préparateur de gamme d'usinage est à rapprocher des travaux de [Derras, 1998] en ce sens qu'il s'agit d'une part d'associer des processus capables à une entité élémentaire d'usinage et d'autre part de planifier ces processus sous contraintes de manière à obtenir la gamme, résultat structuré autour des concepts de « *Phase* » réalisée dans une « *cellule de fabrication* », « *Sous-Phase* » réalisée sur un « *Montage d'Usinage* » et « *Opération d'usinage* » réalisée par un « *Outil* » définis dans [GAMA, 1990].

En appliquant la méthodologie V.I.M. avec comme ponts les concepts d'« *entité élémentaire* » et de « *processus d'usinage* », on obtient la Figure 52 qui regroupe les concepts nécessaires à cette modélisation.

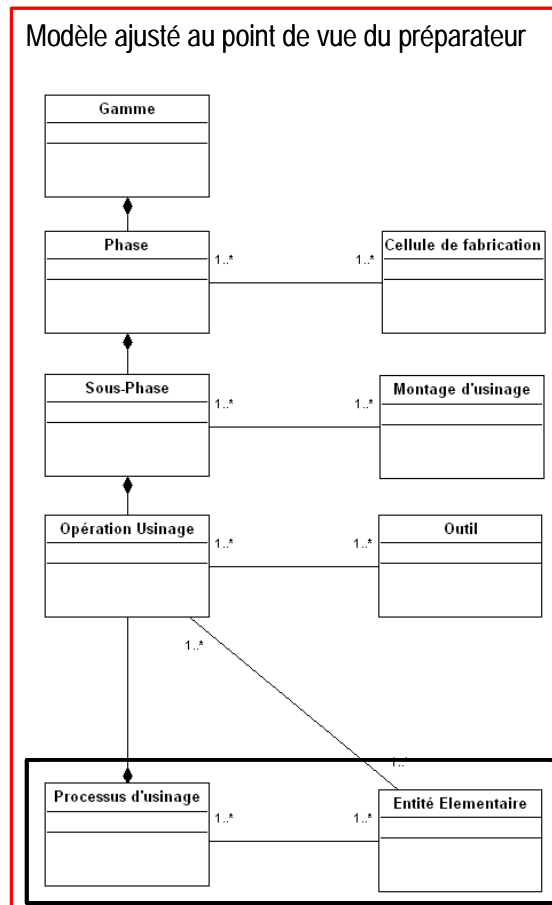


Figure 52 : Modèle ajusté au point de vue du préparateur

- **Point de vue du transformateur**

De plus, le projet USIQUICK, développé dans le cadre de la génération de gamme en CFAO (Conception et Fabrication Assistée par Ordinateur) pour l'aéronautique, a basé tout son apport sémantique autour du concept d'entité élémentaire d'usinage qui peut être décomposé de la façon suivante :

- PLAN EN BOUT : caractérise une géométrie plane accessible uniquement par un mode d'usinage en bout, noté UeB,
- PLAN EN FLANC : caractérise une géométrie plane accessible uniquement par un mode d'usinage en flanc, noté UeF,
- PLAN LIBRE : caractérise une géométrie plane accessible à la fois par un mode UeF et UeB,
- PROFIL : caractérise une géométrie réglée développable non plane, accessible par un mode UeF (la notion de face réglée développable est présentée dans [Harik, 2004]),
- ALESAGE : caractérise les alésages simples débouchant, usinés selon la direction axiale de l'alésage,
- RACCORDEMENT : caractérise les géométries cylindriques issues des rayons de raccordement. Ces rayons de raccordement peuvent résulter de l'usinage de l'une des entités voisines ou être usinés séparément (opération de reprise des rayons),
- MASQUE (Figure 53, Figure 54) : caractérise certaines formes géométriques dont une zone est "masquée", c'est à dire qu'elle est inaccessible en mode UeF ou UeB. C'est une entité qui est usinée en appliquant des stratégies métier particulières. Ces stratégies permettent de résoudre le problème d'usinabilité de la surface masquée par modification de la géométrie ou utilisation d'outils spéciaux (outil conique). C'est le cas par exemple des faces planes ou réglées en contre

dépouille qui masque une zone de fond plan. Si la zone masquée est réduite au raccordement, il n'y a pas de problème d'accessibilité, donc pas d'existence d'une entité MASQUE,

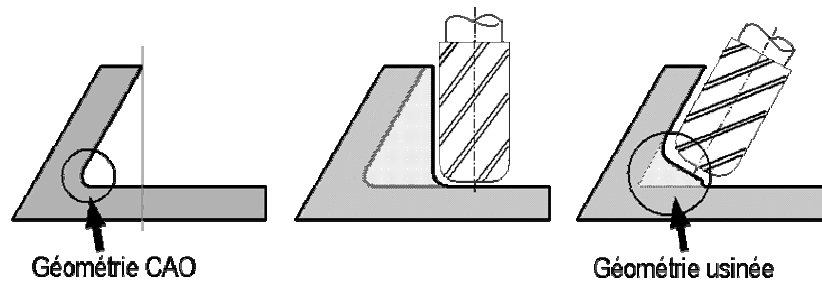


Figure 53 : Modification de la géométrie d'une zone masquée

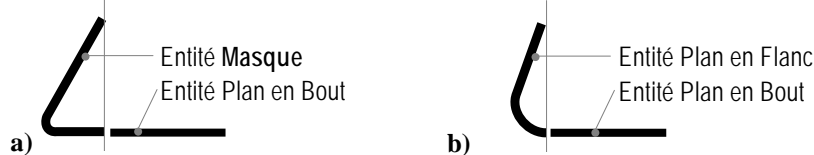


Figure 54 : Condition d'existence de l'entité MASQUE

- COINS 5 AXES : Le coin 5 axes peut être considéré comme le coin d'une poche présentant des dépouilles. Un coin 5 axes est une surface cylindrique ou réglée raccordant deux faces quelconques (le plus souvent plane ou réglée) en tangence et non perpendiculaires à une surface faisant office de fond (au moins une des deux faces doit l'être),
- EXTREMITÉ D'ELANCEMENT : caractérise les extrémités des parois élancées (i.e les voiles, semelles, âmes et raidisseurs). Ces entités se démarquent des précédentes car ce sont les seules qui ne sont définies qu'à partir de considérations géométriques en début de conception de gamme

Ces entités élémentaires d'usinage portent un certain nombre d'attributs nécessaires au gammiste. La description des entités d'usinage est faite au travers d'un certain nombre d'attributs portés par l'entité, qui sont de deux natures : intrinsèques (paramètres géométriques, paramètres qualitatifs, paramètres technologiques d'usinage,...) et extrinsèques (position dans le repère du modèle, relations topologiques,..). La méthode de génération de gammes développée au sein d'USIQUICK utilise prioritairement deux attributs : un intrinsèque à l'entité : l'accès d'usinage, et l'autre, extrinsèque : la relation topologique de difficulté d'usinage.

Dans un contexte de gamme automatique, le choix du mode d'usinage (ou mode opératoire) de l'entité de fabrication découle de sa capacité technologique à respecter les spécifications pour un coût minimum. L'ensemble des modes d'usinages est donc généralement contraint par la spécification des faces.

Pour les pièces de structure, la qualité requise des surfaces (en terme de précision dimensionnelle, de rugosité et d'aspect visuel) est assez faible. Pour un plan libre par exemple, les modes d'usinage UeB, UeF ou balayage sont techniquement adéquats pour respecter cette qualité. Le coût d'usinage local n'est pas prioritaire si on le compare au coût d'un posage supplémentaire. Ainsi, le programmeur raisonne avec l'ensemble des processus potentiels d'usinages (identifiés et validés lors de calculs préalables) de chaque entité lorsqu'il définit les posages (point d'entrée du raisonnement de gamme). C'est une fois les posages définis, et en fonction des capacités d'accès de la machine-outil, que le choix entre les processus potentiels est possible. Afin de répondre à ces besoins, nous spécifions que l'entité d'usinage doit comporter un attribut qui définit l'ensemble des directions d'outils des processus d'usinages potentiels.

Le terme *accès d'usinage* est un terme générique pour désigner toutes les combinaisons nécessaires de directions d'outil lors de l'usinage d'une face dans un mode d'usinage considéré. La nature des surfaces élémentaires, couplée à leurs modes d'usinages possibles, définit des ensembles typiques de directions d'outils [Capponi, 2004] et nous retenons :

*Direction d'usinage simple* (Figure 55). C'est l'accès le plus simple, qui permet de définir la position de l'outil de la plupart des modes d'usinages 3 axes : perçage, usinage en bout, contournage en flanc "2 axes 1/2", balayage 3 axes...

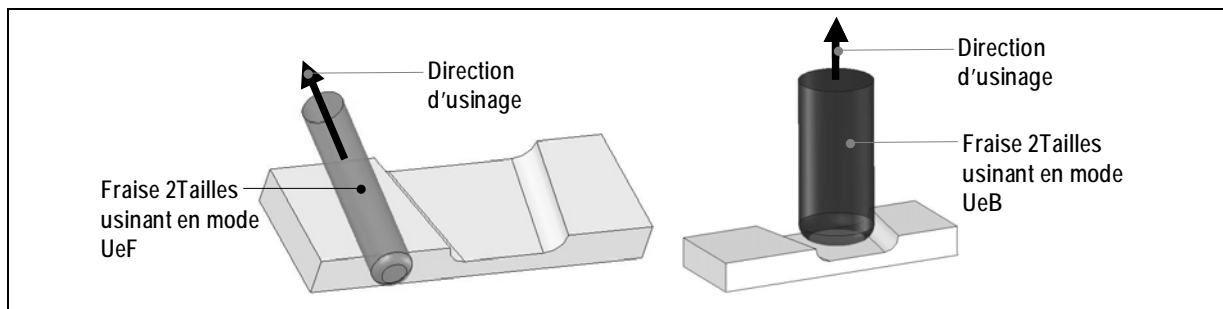


Figure 55 : Exemples de direction d'usinage simple

Le cône de directions d'usinage (ensemble continu). Cet accès est défini par une succession continue de directions. Chaque direction de cet ensemble est nécessaire pour usiner l'entité concernée. Cet accès d'usinage est indivisible. Il permet de définir par exemple les positions successives de l'outil lors des usinages en flanc de type 4 ou 5 axes (Figure 56).

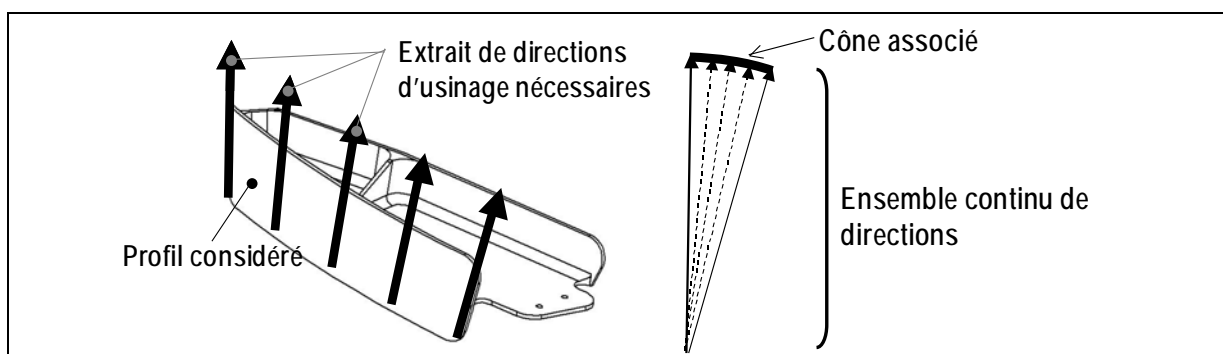


Figure 56 : Exemple de cône de directions d'usinage

La problématique d'usinages porte sur des entités particulières, telles que des faces, ou des ensembles de faces. Les entités d'usinage correspondantes sont traitées en appliquant des règles métier spécifiques (ordonnancement et allocation dans les posages, choix de processus, choix de ressources, ...) qui impliquent des choix de solution au plus tôt dans la conception de la macro-gamme (liste ordonnée et structurée d'opérations d'usinage).

Aussi, Le transformateur proposé dans le cadre du projet USIQUICK doit transformer le modèle CAO en un modèle supportant la génération automatique de gamme d'usinage aéronautique.

Le résultat du transformateur est une description de la pièce sous forme d'entités élémentaires, qui est obtenu à partir du modèle B-Rep de la pièce donnée en entrée.

Le transformateur agit selon deux phases : une phase d'**enrichissement du modèle CAO** et une phase d'**analyse d'usinabilité**.

La phase d'enrichissement du modèle détermine un certain nombre d'informations nécessaires à la phase d'usinabilité. L'enrichissement aboutit à une structure de données type entités élémentaires dont certains attributs sont encore indéterminés. Cette phase se décompose en plusieurs étapes :

- **Caractérisation des faces.** Chaque face du modèle CAO peut être considérée comme une entité élémentaire. Afin de calculer son usinabilité, c'est-à-dire l'ensemble des modes d'usinage possibles pour cette face, il faut enrichir cette face à l'aide d'informations diverses telles que le type de sa surface (qui n'est pas forcément connu par le modelleur), son aire, son périmètre, son rayon de courbure minimum , ....
- **Caractérisation des arêtes.** Chaque arête du modèle CAO va elle aussi être enrichie, à l'aide d'informations comme sa longueur, son type, son rayon de courbure minimum orientée extérieure matière...
- **Construction d'un graphe d'adjacence.** Les données précédemment calculées sont intégrées dans un graphe d'adjacence particulier. Ce graphe est par la suite utilisé lors de la phase d'usinabilité,

- *Calcul d'indicateurs spécifiques.* Certaines caractéristiques telles que les extrémités d'élanement, les coins 5 axes ou les filets sont détectables à partir de critères géométriques. La dernière étape de l'enrichissement va constituer à calculer des indicateurs chargés d'évaluer la possibilité de telles caractéristiques.

La phase d'usinabilité étudie chaque entité élémentaire pour lui associer des paramètres de réalisation (le ou les mode(s) d'usinage possible(s), la plage d'outils à utiliser, les accès d'usinage). Elle se décompose en plusieurs étapes :

- *Choix d'un mode d'usinage à partir d'une base de règles.* A partir de l'étude des caractéristiques intrinsèques de la face et du graphe d'adjacence, il va être possible pour certaines faces de choisir grâce à une base de règles un mode d'usinage préférentiel,
- *Validation du mode par calcul d'accessibilité.* Des calculs d'accessibilité déterminent les parties de la face pouvant être masquées. Ces calculs ont été développés spécifiquement pour les modes d'usinage UeB et UeF.

A titre d'exemple, le logigramme Figure 60 présente la succession d'algorithmes dans le processus proposé dans le projet USIQUICK sur la cas particulier de l'usinage en flanc. La phase d'enrichissement étudie le modèle B-Rep existant et aboutit à la mise en place de structures topologiques enrichies nommées « UFace » (pour face USIQUICK) et « UEdge » (pour arête USIQUICK). Ces deux structures sont les éléments de base pour l'analyse d'usinabilité. Chaque « UFace » est liée à une « face » du modèle B-Rep et chaque « UEdge » est liée à une « arête » du modèle B-Rep (Figure 61).

Une UFace est composée d'un certain nombre d'attributs géométriques, déterminés lors de la phase d'enrichissement du modèle CAO. Ces attributs sont utilisés pour la phase de détermination de l'usinabilité :

- *Le type de la UFace.* Le type de la face est déterminé en regard de sa surface support. Il aide le transformateur à déterminer les modes d'usinages pouvant être associés à l'entité élémentaire liée à la face. On distingue 5 types de face : PLAN, CYLINDRE, CONE, SURFACE REGLEE DEVELOPPABLE, SURFACE BALAYEE A RAYON CONSTANT, QUELCONQUE. Il est important de noter que le type le plus « spécialisé » l'emporte (une face plane, bien qu'étant réglée développable, est étiquetée « plane ») (Figure 57). Une surface réglée peut être engendrée par le déplacement d'une droite (ou règle) s'appuyant sur deux courbes de l'espace. Les surfaces réglées développables sont des surfaces réglées auxquelles on impose en outre que les directions des vecteurs normales à la surface soient parallèles le long de chaque règle. La taxinomie proposée se retrouve dans le modèle Figure 61.

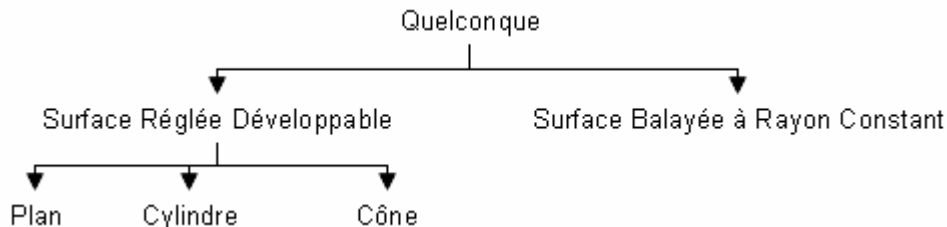


Figure 57 : Taxinomie des types de UFace

- *La convexité / concavité de la UFace.* La convexité et la concavité d'une UFace sont importantes pour déterminer son usinabilité en balayage. En effet, alors que les morceaux convexes d'une surface ne posent pas de problèmes locaux d'usinage, les morceaux concaves doivent être étudiés afin de pouvoir déterminer leur usinabilité (Figure 58).

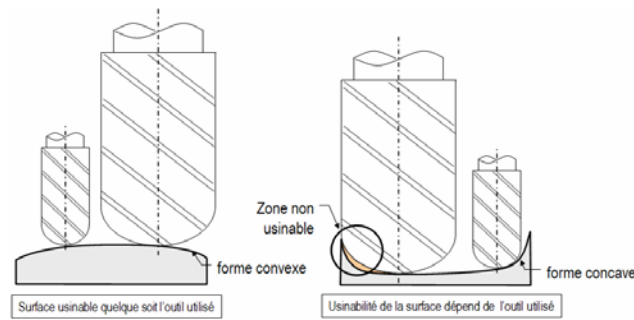
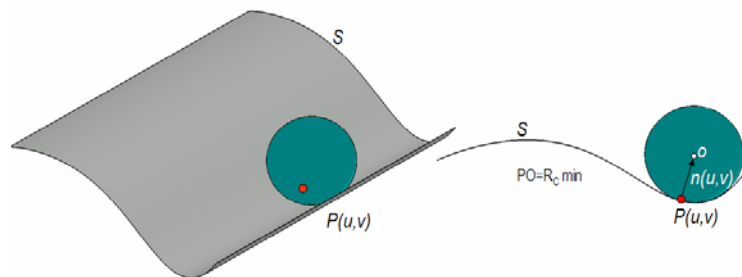


Figure 58 : Forme convexe/concave

- *Le rayon de courbure minimal extérieure matière de la surface.* Le rayon de courbure minimum  $R_c \min$  d'une surface  $S$  correspond au rayon de la plus grande sphère pouvant être positionnée en tangence en tout point  $P$  de la surface  $S$  sans provoquer d'interférence avec la surface  $S$  (Figure 59). Le rayon de courbure minimal est utile pour évaluer la comptabilité outil-surface en fonction du mode d'usinage sélectionné pour une face. Pour une surface réglée développable par exemple, le rayon de courbure minimum permet de définir le diamètre maximal que peut avoir l'outil pour usiner totalement la surface. Pour les surfaces cylindriques, le rayon de courbure minimum est égal au rayon du cylindre.

Figure 59 : Rayon de courbure minimum de la surface  $S$ 

- *La nature de la face.* La nature de la UFace est un attribut issu de la qualification des arêtes (Figure 62). Si toutes ses arêtes sont F, alors la nature de la face est dite fermée (F). Si toutes ses arêtes sont O, alors la nature est dite ouverte (O). Sinon la nature est dite semi-ouverte (SO).
- *L'aire de la face, son périmètre.* Ces indications seront utiles pour le calcul des extrémités d'élanement.
- *Indicateur Élément mince.* Cet indicateur permet de savoir si la face considérée est un élément mince. On note aussi l'ensemble des faces avec lesquelles elle est un élément mince.
- *Indicateur de raccordement.* Cet attribut indique si le cylindre ou la surface balayée à rayon constant est un congé de raccordement ou pas. Si la surface est un raccordement.
- *Indicateur d'accessibilité en bout.* Cet attribut indique si la UFace est totalement, partiellement ou non accessible en bout.
- *Indicateur d'accessibilité en flanc.* Cet attribut indique si la UFace est totalement, partiellement ou non accessible en flanc.

Il existe encore d'autres paramètres qualificatifs qui sont développés dans [Derigent, 2005], notamment ceux pour les faces réglées développables et pour les faces planes.

De la même manière, nous ne traitons pas ici la prise en compte des relations topologiques ni le processus d'analyse d'usinabilité.

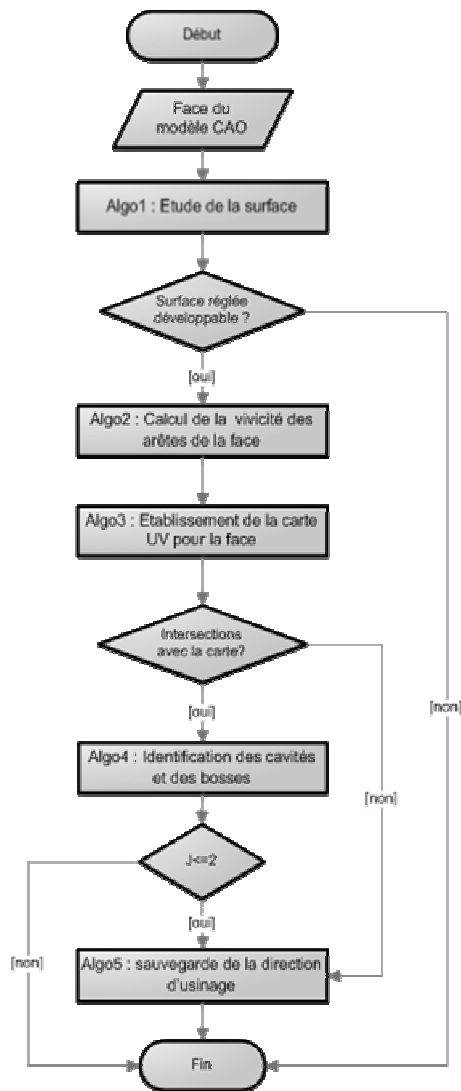


Figure 60 : Logigramme présentant la succession des étapes dans le processus de transformation

Les algorithmes, présentés dans le logigramme Figure 60 et détaillés dans [Derigent, 2004], ont, comme point d'entrée, un modèle CAO, qui est composé de surfaces paramétriques.

L'algorithme 1 va détecter si une face du modèle CAO est une possible entité d'usinage en flanc, en vérifiant que la surface est une surface réglée développable [Harik, 2004].

L'algorithme 2 calcule le paramètre de vivacité (Figure 62).

L'algorithme 3 permet d'établir la carte biaffine UV [Léon, 1985] des frontières de la face, cela peut être vu comme une opération de projection géométrique classique.

L'algorithme 4 vise à étudier plus finement le cas des règles qui ont perdu leur qualification de direction d'usinage dans l'étape 3.

Enfin, l'algorithme 5 permet de déterminer la zone usinable définie par l'ensemble des directions d'usinage.

La caractérisation du concept « *UEdge* » se fait au travers d'attributs géométriques structurés dans le modèle Figure 61. Le modèle ajusté au point de vue du transformateur se fait donc à partir du pont constitué par le concept « *entité élémentaire* ».

Ce modèle ajusté fait apparaître deux concepts apparus lors de l'ajustement du modèle initial au point de vue du concepteur, à savoir les concepts de « *Face* » et « *Edge* ». Ces concepts sont des *concepts communs* au sens de la méthodologie V.I.M.



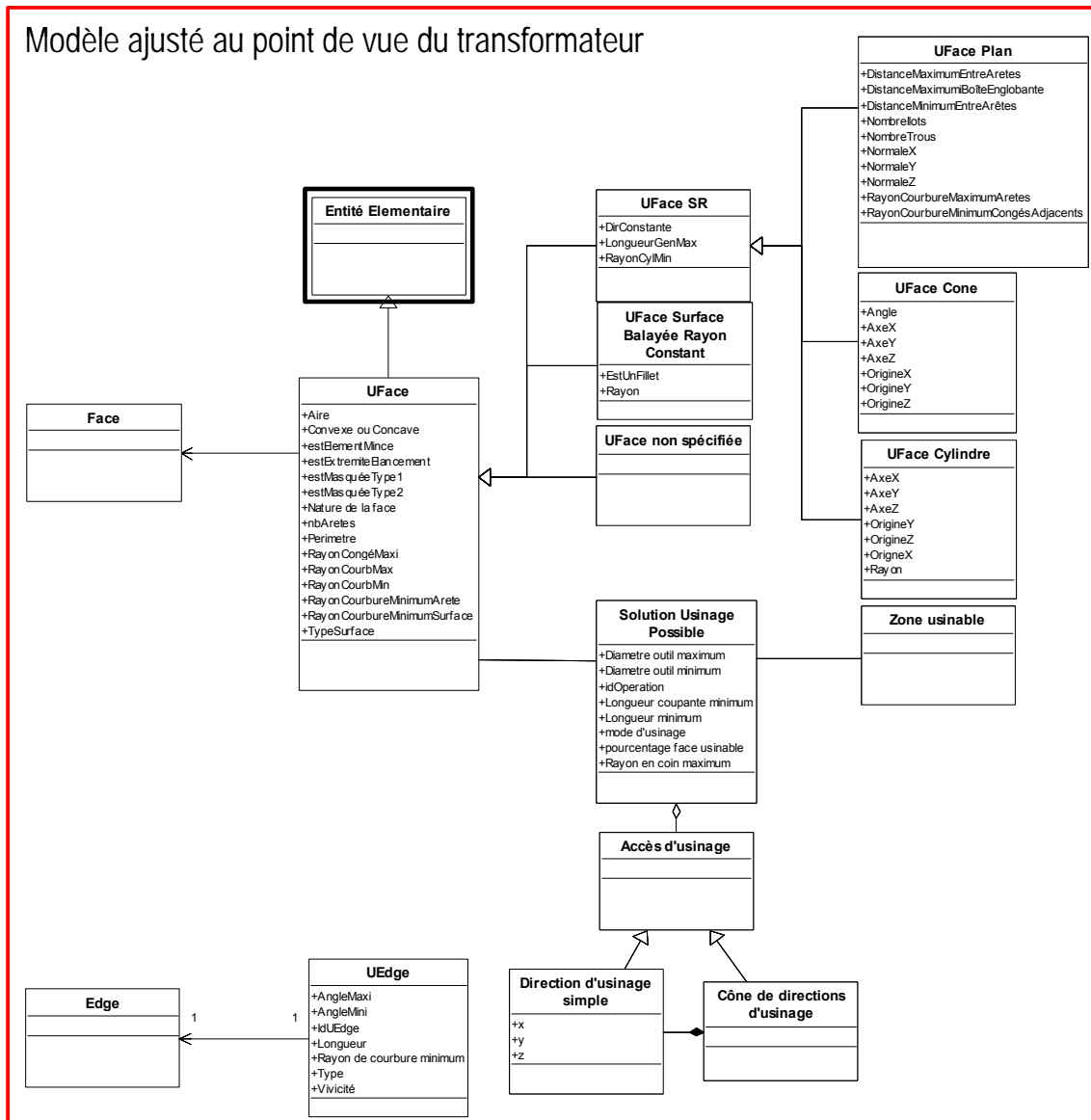


Figure 61 : Modèle ajusté au point de vue du transformateur

Plus particulièrement, nous pouvons noter les caractéristiques suivantes pour le concept d'« *UEdge* » :

- *Le type de l'arête*. On distingue 3 types d'arêtes : droite, circulaire, planaire et quelconque. Une arête planaire est une arête contenue dans un plan. Les arêtes droites ont comme attributs spécifiques le vecteur directeur de l'arête, les arêtes circulaires le rayon de l'arc, et les arêtes planaires le plan dans lequel elles sont contenues.
- *La qualification de l'arête* (Figure 62). Cet attribut est un critère géométrique, qui évolue en fonction de l'angle que font deux faces connectées à l'arête et de leurs types géométriques.
- *Le rayon de courbure minimum de l'arête extérieur matière*. Cet attribut caractérise le plus grand rayon d'outil apte à usiner l'arête entièrement. Cet attribut aide à la détermination de plage d'outils possibles.
- *La longueur de l'arête*. Cet attribut est utile au cours de la phase du calcul d'usabilité. *L'angle des faces adjacentes à l'arête*. L'angle formé par les deux faces adjacentes à l'arête permet de caractériser les relations entre les deux faces. Par exemple, un angle de 90° entre deux faces rend possible un usinage simultané des deux faces.

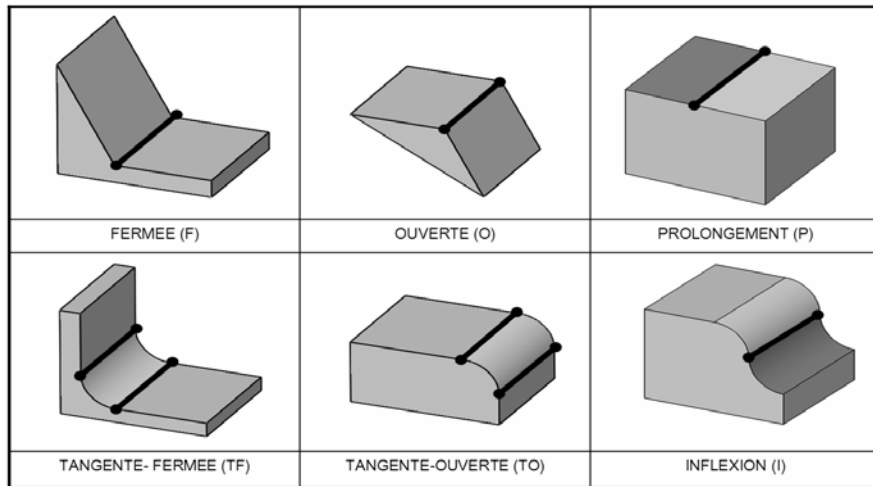


Figure 62 : Qualification de l'arête

2.2.4.2 Présentation du modèle final

La Figure 63 présente le modèle global avec ses différents sous-modèles ajustés à partir du modèle initial. On distingue également les ponts utilisés ainsi que les concepts communs apparus en cours de modélisation.

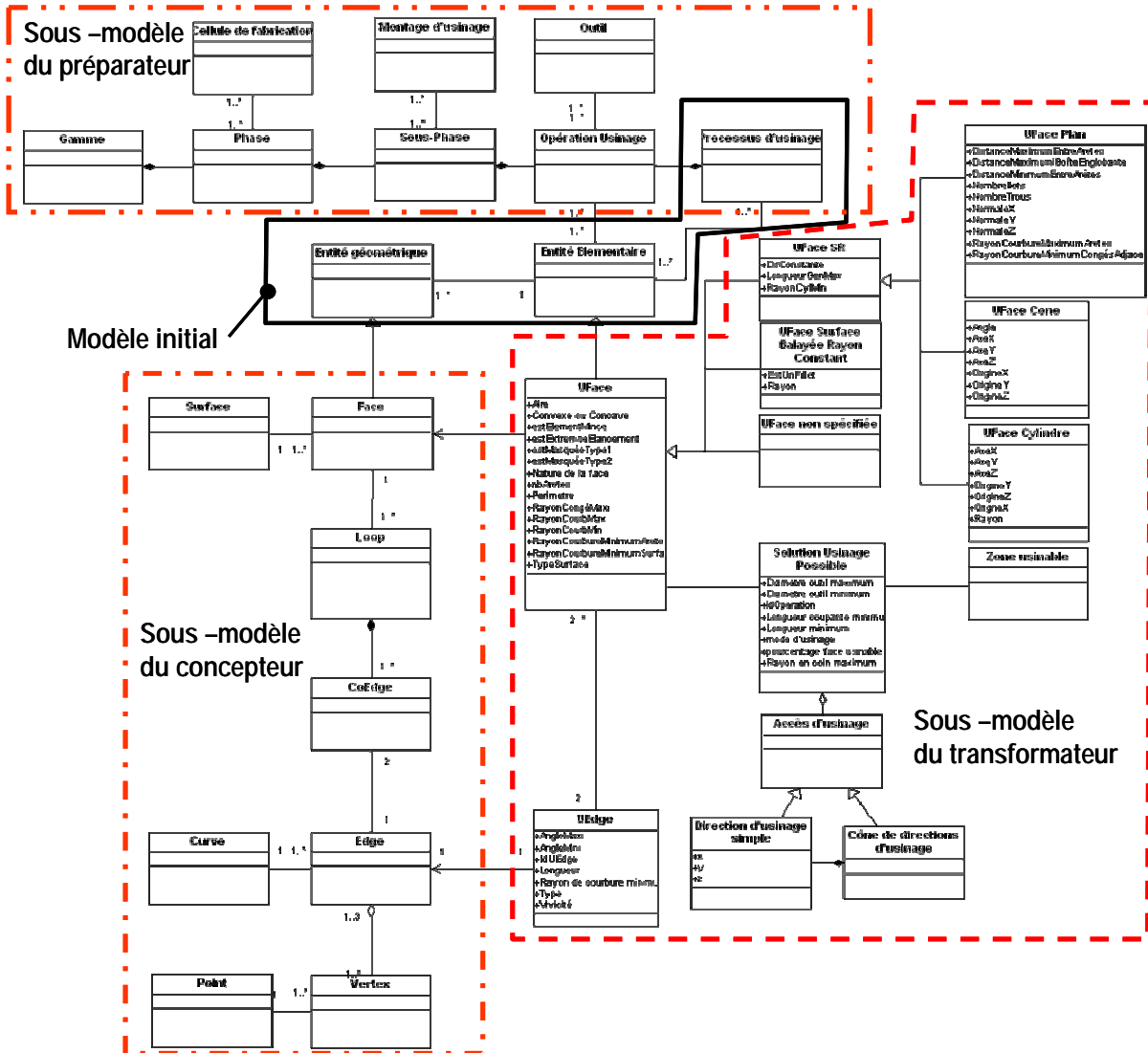


Figure 63 : Modèle final ajusté aux points de vue des acteurs

### 2.2.4.3 Bilan

Après avoir présenté les résultats des travaux de formalisation de la méthodologie V.I.M. par [Million, 1998], nous trouvons dans son application pour le projet USIQUICK, le moyen de répondre aux besoins informationnels soulevés par la mise en place d'une architecture telle que FUKAPP [Derras, 1998].

Comme le démontre l'étude bibliographique menée par [Derras, 1995] complétée par [GAMA, 1998] et enfin par [Derigent, 2005], il n'existe pas de bijection entre les entités géométriques et les entités d'usinages et les techniques actuelles de reconnaissance d'entités ne sont pas adaptées, et encore moins dans le domaine aéronautique.

Ainsi l'application de la méthodologie V.I.M., initialement établie pour la modélisation d'objets physiques (validation faite sur la modélisation des outils coupants), a trouvé un autre domaine d'application pour la modélisation des objets informationnels.

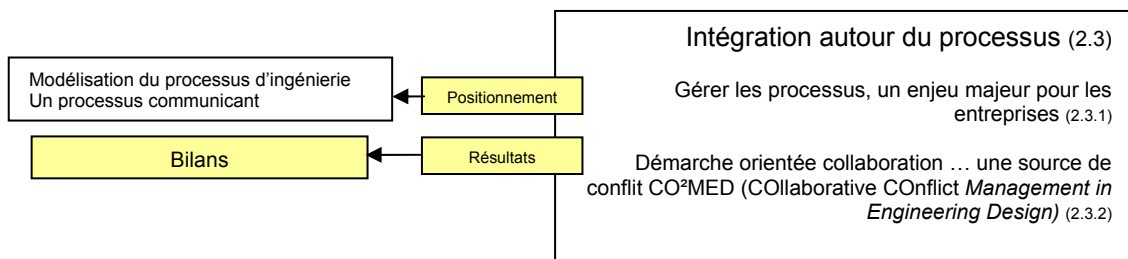
Le modèle ainsi obtenu comporte les informations nécessaires à l'exécution des phases de transformation et de préparation. Les propositions que nous avons faites ont été présentées lors des séminaires organisés en France autour de l'AP 238 [ISO 10303-238] de la norme STEP. Ce modèle présente l'avantage d'être porteur de ses points de vue au travers de ses sous-modèles. L'intérêt pour le projet USIQUICK, et de disposer d'un modèle permettant d'une part de supporter le déroulement des algorithmes décrivant le transformateur et d'autre part de permettre la répercussion des modifications au travers des différentes vues ce qui n'est pas réellement mis en œuvre dans les modélisations produit telles que présentées section 2.2.1 ou dans [Derigent, 2005].

Liste de mes principales publications : [B. 1], [C. 7], [C. 10], [C. 12], [D. 4]
--

## 2.3 INTEGRATION AUTOUR DU PROCESSUS

En regard de la problématique mise en avant section 2.1.3 basée sur nos travaux de thèse et sur un contexte positionné section 2.1.1, et après avoir traité l'intégration nécessaire à mettre en place autour de la représentation du produit, nous présentons dans ce qui suit des travaux centrés sur le processus d'ingénierie et sur son intégration au sein du triptyque *Produit-Processus-Organisation* développé dans le cadre du projet RNTL IPPOP.

L'architecture D.M.M.S. mise en place par [Lombard, 1994] a permis, dans un contexte C.I.M. (au sens *Corporate Information Management*), des relations au travers de l'échange de données techniques. Cette approche a été complétée par les travaux de [Million, 1998] et utilisée dans le cadre du projet RNTL USIQUICK [Derigent, 2005]. La masse d'information potentiellement échangeable est telle qu'il est nécessaire de gérer sa diffusion, voire son évolution dans un contexte industriel. Selon le vieil adage qui dit que « *trop d'information tue l'information* », il s'agit donc d'étudier, dans un premier temps, les processus socio- techniques pour, dans un deuxième temps, chercher à les modéliser pour mieux les assister.



Après avoir positionné la problématique d'intégration autour du processus, différents travaux sont présentés autour :

- des processus communicants (2.3.1),
- de la conception collaborative, avec la mise en place d'un référentiel support à la conception collaborative (2.3.2),
- de l'intégration de ce référentiel au sein du projet IPPOP ayant pour objectif l'intégration des dimensions *Produit-Processus-Organisation* (2.3.2.4).

### 2.3.1 Gérer les processus, un enjeu majeur pour les entreprises

#### 2.3.1.1 Modélisation du processus d'ingénierie

[Vernadat, 1999] distingue la notion d'activité de celle de processus pour modéliser les aspects fonctionnels d'une entreprise. En effet, les activités ou tâches représentent la matérialisation d'une action qui nécessite du temps et est effectuée par des ressources humaines ou physiques alors qu'un processus est vu comme un comportement de l'entreprise à savoir dans quel ordre sont exécutés les actions. Si nous prenons en compte l'évolution dans le temps avec la disponibilité des ressources, nous pouvons ainsi représenter les aspects dynamiques du comportement de l'entreprise. L'activité est décrite par la réalisation d'une tâche avec des données d'entrée et de sortie élaborées à l'aide de ressources et dans un temps défini. Le processus opérationnel est donc un enchaînement de ses activités dans le but d'atteindre un objectif de l'entreprise : produire ou effectuer un service.

Par modélisation du processus d'ingénierie, on peut faire l'hypothèse, à l'instar de [Girard, 2004] que ce processus est assimilable à une transformation qui peut être considérée comme une succession d'états d'information [Takeda, 1990], [Grabowski, 1995], [McMahon, 1995] (Figure 64).

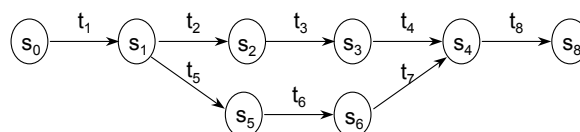


Figure 64 : Modèle du processus d'ingénierie

avec  $\mathcal{T}$ : transformation représentant un processus d'ingénierie donné  
 $S_{Initial}$ : état initial d'information relative au processus d'ingénierie  
 $S_{Final}$ : état final d'information relative au processus d'ingénierie

Il est alors possible de décrire ce processus sous la forme d'une succession d'états d'information  $s_j$  ( $s_j \in S$ ) et de transformations  $t_j$  ( $t_j \in T$ ) tel que:

$$s_j = s_{j-1} \otimes t_j \quad \text{et}$$

$$S = \{s_0, s_1, \dots, s_n\}, \quad T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$$

où  $t_j$  : transformation donnée  
 $s_{j-1}$  : état initial d'information relative à la transformation  $t_j$   
 $s_j$  : état final d'information relative à la transformation  $t_j$   
 $S$  : ensemble fini des états d'information relatifs à la transformation  $\mathcal{T}$   
 $T$  : ensemble fini de transformations associées à la transformation  $\mathcal{T}$

Des méthodes, modèles et formalismes tels que IDEF0, pour la grande généralité du formalisme, IDEF3, Réseaux de Pétri, Grafcet pour les aspects temporel et de synchronisation, UML pour la grande richesse des diagrammes à disposition, Réseaux GRAI pour la forte dynamique temporelle du formalisme... proposent des cadres de modélisation. Sur la base de l'étude faite par [Nowak, 2004], il a été possible de dégager les briques élémentaires intéressantes pour la définition d'un formalisme de modélisation de processus adapté aux contraintes particulières de la conception de produit dans le cadre du projet RNTL IPPOP.

Notre intérêt porte d'avantage sur les supports d'information susceptible d'assister le travail des différents acteurs dans leur processus collaboratif d'ingénierie. Pour mieux en comprendre les besoins, nous exprimons les constats de recherche portant sur l'étude du processus particulier de conception en mécanique.

### 2.3.1.2 Etude du processus de conception ... un processus communicant

L'activité de conception est un objet de recherche relativement récent par rapport à l'origine même de la conception : l'homme conçoit depuis plus de trois millions d'années.

Pour comprendre et maîtriser simultanément l'activité et le processus de conception, il est nécessaire de les considérer comme un tout indivisible (approche holistique) multidimensionnel (organisationnel et managérial, technique, économique, social, cognitif) et donc pluridisciplinaire.

Le processus de conception est en fait composé d'un ensemble de processus métier (calcul, dimensionnement de structure, définition de gamme de fabrication, ...). Tous ces métiers concourent à créer et/ou instancier un modèle de produit commun, référentiel de données du travail coopératif. De par la multitude des acteurs et métiers représentés, ce processus doit reposer également sur un système facilitant ce travail coopératif. Plusieurs communautés scientifiques se sont réunies sur des projets communs pour tenter de définir et analyser des expériences de conception.

Dans ce contexte d'évolution, des programmes de recherches ainsi que des laboratoires autour de groupe de réflexion comme le GRACC [GRACC, 2001] ont permis de rassembler des chercheurs de sensibilités différentes (génie mécanique, productique, psychologie, sociologie) pour mettre en place des protocoles de recherche sur des corpus issus d'expériences de conception de manière à proposer, entre autre, une classification de cas types pour valider des modèles d'organisation ou de comportement. [Salau, 1995], [Garro, 1997] ont proposé une approche connexionniste et distribuée de la conception autour de 3 modules (Fonctionnel, Structurel, Fabrication) ayant des objectifs locaux particuliers, munis de leur langage propre, permettant l'étude des interactions en situation de travail concourant pour répondre à un objectif global au travers de l'émergence de solutions [Blanco, 1998]. Toutes font référence aux expériences menées par [Bucciarelli, 1994] qui ont trouvées une transposition dans les travaux de [Ris, 1998] et [Garon, 1999] au travers du jeu des CMAOistes.

Plus particulièrement, l'objectif du projet « **Conception distribuée** » (action SPI-SHS système de production du CNRS), auquel nous avons participé, portait sur la réalisation d'expériences scientifiques basées sur le modèle de pilotage réactif et distribué d'un système de production et appliqué à la conception de produit afin de mettre en évidence les conditions nécessaires et suffisantes de convergence de conception.

. Dans cette approche, le système s'auto-organise et la solution émerge par co-construction d'un modèle commun à partir des connaissances réparties entre les différents acteurs et de leurs communications. Le processus de conception s'appuie sur des aspects purement techniques mais est également sensible aux facteurs humains, ainsi le projet a associé logiquement des mécaniciens, des psychologues et des automaticiens. L'expérience s'est déroulée sous la forme d'un jeu de rôle avec des intervenants de deux ordres différents : des participants physiques remplissant le rôle des modules fonctionnel, structurel, fabrication définis par [Salau, 1995], et des observateurs analysant le fonctionnement du réseau.

L'expérience a montré qu'il y a partage et chevauchement des connaissances par chacun des participants. Il est à noter également des alternances entre phases de créativité basculant très vite vers des solutions réelles et phases de conception, voire même conception détaillée. De plus, cette expérience a mis en évidence le rôle primordial que peuvent avoir les objets intermédiaires (texte, graphe, schéma, dessin, ...) mais aussi le nombre important d'implicites.

[David, 1998] propose, à la suite d'expérimentations, la mise en place d'un environnement informatique coopératif au travers d'une approche génie logiciel. Dans le même esprit, mené de front au projet « **Conception distribuée** » (action SPI-SHS système de production du CNRS), mais sur des aspects plus techniques, le projet « **Scénario d'Ingénierie Communicante pour les Systèmes Intégrés de Production** », dans le cadre de l'action incitative du D.S.P.T.8 en Productique du Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche, avait pour objectif de mettre en évidence ce que doit être une Ingénierie Concourante par l'intermédiaire de la mise en place d'une véritable communication entre les différents acteurs d'un projet en contribuant à l'élaboration de méthodes et outils permettant de guider les organisateurs, gestionnaires, concepteurs et exploitants afin de contribuer à une meilleure adéquation entre les différents acteurs de la production. Ce projet a permis de pratiquer une expérience d'ingénierie communicante au travers de la conception d'un système d'assemblage (spécifications de ce système issues d'une application d'assemblage par rivetage de sous-ensembles de tronçons d'avion pour DASSAULT Aviation Argenteuil). Plus particulièrement, notre travail a permis de mettre en évidence un manque de structuration pour le partage de l'information dont une réponse a porté sur une méthodologie orientée systémique [Lombard, 1996a] ainsi que sur le couplage d'un serveur WEB à une base Emeraude/PCTE [Lombard, 1996b].

Enfin, citons également le projet EIFFEL [EIFFEL, 2002] qui sur la base d'expérimentations a permis de dégager des invariants cognitifs pour caractériser les raisonnements individuels et collectifs pour mieux maîtriser le processus de conception. Ce projet concerne également l'intégration de points de vue en conception participative (Darses, 2001), à rapprocher de la vue informationnel de [Million, 1998], en se proposant de modéliser les dimensions cognitives et socio-cognitives de l'intégration des points de vue, puis de développer des outils d'assistance et enfin de déterminer les conditions optimales de la conception participative.

Aussi, les résultats de ces études, dont la liste n'est pas exhaustive, permettent de montrer la conception comme un enchaînement de multiples séquences de résolution de micro problèmes dans un mode coopératif en s'attachant à mettre en avant le côté organisationnel nécessaire ainsi que la nécessité d'un référentiel informationnel plus riche et plus complet pour la supporter. En effet, les seuls outils de CAO et calcul ne suffisent plus dans un contexte d'ingénierie et il convient désormais de prendre la pleine mesure du besoin de coopération entre les différentes activités constituant son processus.

### **2.3.2 Démarche orientée collaboration ... une source de conflit CO<sup>2</sup>MED (COllaborative COnflikt Management in Engineering Design)**

Si l'invention est le propre de l'Homme, les connaissances nécessaires pour inventer d'une part, et transférer les avantages de l'invention vers son utilisateur potentiel d'autre part, dépassent de loin la capacité d'un seul homme, car elles nécessitent de nombreux savoir-faire. Ceci explique que selon [SESSI, 1998], 42 % des firmes qui ont innové en produit l'ont fait en collaboration.

Notre travail autour de l'étude du processus d'ingénierie trouve ses origines avec les projets DSPT8 (avec comme résultats l'étude et la formalisation des communications asynchrones) et SPI-SHS (avec comme résultats l'étude de corpus issus de situation en présentielle de conception de manière à dégager des critères de reproductibilité).

La Figure 65 présente, de façon informelle, l'enchaînement des thématiques, travaux et résultats autour de l'étude du processus de conception et plus particulièrement sur la démarche communicante sur laquelle il est bâti. Ces travaux s'intègrent plus particulièrement aux axes définis par le groupe de travail C2EI du GDR MACS.

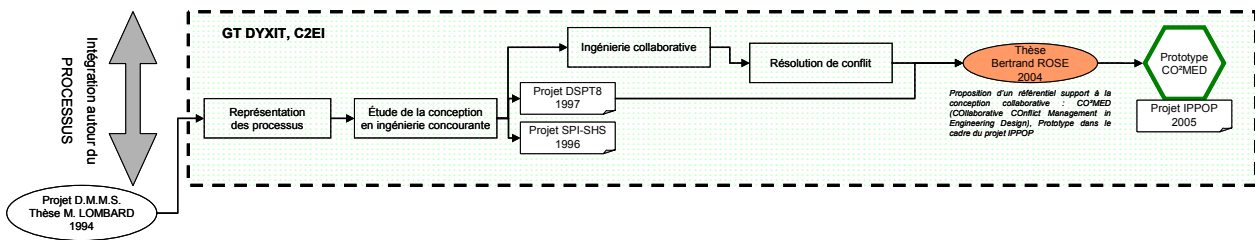


Figure 65 : Extrait de la vue informelle de la démarche autour du processus et orientée collaboration

Nous nous sommes plus intéressés dans les travaux de [Rose, 2004] à l'aide à la résolution de conflits techniques résultants de contraintes antagonistes (par exemple, faire léger mais résistant). En effet, la gestion de conflit étant un cas particulier de la collaboration en conception, il n'en demeure pas moins que ce phénomène peut tenter d'être rationalisé et circonscrit par des méthodes génériques s'appliquant dans des situations assez diverses et variées.

Nous avons postulé que l'arbitrage de conflits en conception est laissé à la charge des protagonistes du travail collaboratif ; notre propos étant de fournir un système améliorant l'efficacité et permettant la mémorisation des connaissances mises en jeu lors de la résolution des conflits techniques.

Nous définissons la connaissance générale d'un acteur comme étant la réunion des connaissances pointues et des connaissances collaboratives. Les connaissances pointues de l'acteur regroupent toute son expertise dans un ou plusieurs domaines donnés. Les connaissances collaboratives peuvent être structurées en (Figure 66) :

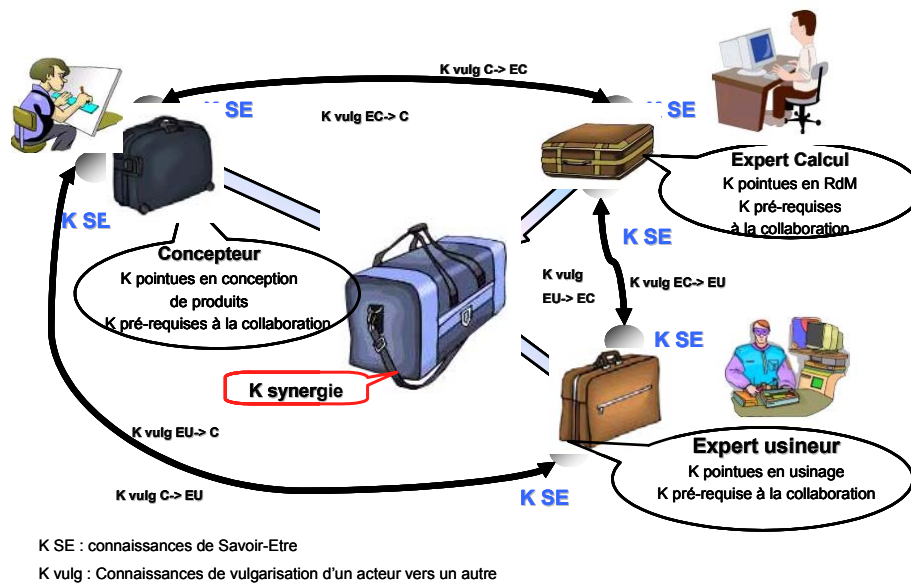


Figure 66 : Connaissances collaboratives

- connaissances de vulgarisation en provenance des autres membres du groupe acquises par l'acteur. Par vulgarisation, nous entendons le processus qui consiste à rendre la connaissance propre d'un acteur accessible et compréhensible auprès des autres acteurs,
- connaissances de vulgarisation dispensées aux autres acteurs du projet, objectivées par rapport au récepteur, (un modèle mathématique comme connaissance pointue est expliqué, sous forme d'incidence, de résultat..., en connaissance de vulgarisation),
- connaissances de savoir-être, que chaque participant doit mettre en œuvre afin d'initier la communication avec les autres acteurs. Elles peuvent être vues comme des ports d'interface pour accéder aux autres acteurs du milieu environnant,

- *connaissances de synergie*, mises en places pour réaliser et maintenir ces échanges de connaissances intra-groupe.

On serait tenté d'assimiler la somme des connaissances de vulgarisation qu'un acteur a dispensé aux autres acteurs comme faisant partie intégrante des connaissances pointues de cet acteur. Ceci n'est pas réellement vrai car le problème de ces connaissances de vulgarisation est qu'elles doivent être formulées et énoncées de façon à être facilement assimilées par les autres acteurs, sans insister trop profondément sur tous les aspects de l'expertise de l'acteur. En fonction du destinataire et du contexte dans lequel l'activité de conception est effectuée, ces connaissances doivent donc être présentées différemment.

Ainsi, les connaissances collaboratives s'inscrivent dans un contexte de groupe et impliquent la création de synergies et de dynamiques de collaboration entre les membres du groupe. Elles forment avec les connaissances pointues, la connaissance générale de l'acteur. La connaissance générale de l'acteur se structure donc de la façon suivante [Rose, 04] :

$$K_g(A) = K_A + \sum_{i=B}^N K_{i \rightarrow A} + \sum_{i=B}^N K_{A \rightarrow i} + K_{SE} + \xi_{syn}$$

Où :

- $K_A$  représente les connaissances pointues de l'acteur,
- $\sum_{i=B}^N K_{i \rightarrow A}$  est la somme des connaissances de vulgarisations que l'acteur a acquises en collaborant avec les autres acteurs oeuvrant dans le projet de conception,
- $\sum_{i=B}^N K_{A \rightarrow i}$  est la somme des connaissances de vulgarisation que l'acteur a dispensé aux autres acteurs pour qu'ils comprennent son action,
- $K_{SE}$  représente les connaissances de savoir-être inhérentes à l'acteur, au groupe et à la culture dans lesquels est menée l'activité,
- $\xi_{syn}$  représente la connaissance de synergie nécessaire à la mise en place la vulgarisation des connaissances entre les différents acteurs.

### 2.3.2.1 *Outils support à la gestion de connaissances en conception mécanique*

Certains travaux de recherche qui se sont intéressés à la conception collaborative se sont focalisés sur la gestion de conflits en conception [Matta, 1996], [Castelfranchi, 1996]. Ces travaux présentent différentes taxinomies de conflits et techniques de management intéressantes sans toutefois souligner le lien entre les types de conflits rencontrés dans un contexte donné et les connaissances collaboratives utilisées pour les résoudre. [Klein, 2000a] propose quant à lui un référentiel très large visant à anticiper, détecter et résoudre des conflits en conception de produit sans proposer de solutions de gestion pragmatiques.

On serait tenté d'assimiler les outils de Travail Collaboratif Assisté par Ordinateur (TCAO) à une réponse potentielle à la collaboration en gestion de conflits mais ils ne peuvent satisfaire les besoins à l'heure actuelle. En effet, si les notions de coordination (systèmes de workflow, suivi de formulaires...) et surtout de communication (messagerie électronique, systèmes de réunion à distance, visioconférence...) sont globalement couvertes par les outils actuellement disponibles sur le marché, le besoin en terme d'outils de collaboration est bien réel. Ainsi, même si les collecticiels dans leur ensemble se focalisent sur le support du travail de groupe, un des plus gros points faibles de ce type d'outils réside dans les problèmes liés au contrôle [Kanawati, 1997]. Le contrôle (d'accès aux données, de sémantique, de cohérence...) se pose principalement au niveau de l'interaction entre les différents acteurs impliqués dans l'activité coopérative. Selon [David, 2001], ce problème de contrôle de la coordination provient essentiellement d'un manque général qu'ont les collecticiels en ce qui concerne la description des règles de fonctionnement du groupe, de la manière dont les actions



doivent se dérouler. Parallèlement, la contextualisation des actions, des informations et des différents objets manipulés par les différents utilisateurs du système n'est pas, à l'heure actuelle, prise en compte par les logiciels existants sur le marché [Pinelle, 2002]. Ce manque de contextualisation peut s'expliquer notamment par un manque en terme de degré de flexibilité et d'adaptabilité dans l'utilisation de ces outils [Benali, 2002], [Klein, 2000b], mais aussi par un manque d'« awareness », à savoir des lacunes quant à la compréhension des activités des autres [Dourish, 1992] qui permettrait aux acteurs de se « percevoir mutuellement » [Zacklad, 2000].

Différents travaux sont menés pour rendre ces outils plus robustes et plus aptes à une meilleure collaboration. On peut notamment citer les travaux concernant la TCAO capillaire [David, 2003] intégrant la notion de nomadisme pour mieux répondre aux besoins d'accès à distance des utilisateurs à leurs sources de données formant ainsi une réponse à la rigidité des systèmes actuels. Les travaux menés au sein du projet DARE [Bourguin, 2000] visent à rendre plus flexibles les outils de TCAO en prenant en compte les besoins émergents du groupe au fur et à mesure du déroulement de l'activité. Enfin le système AMF-C [Tapin-Bernard, 1998], basé sur une approche multi facettes, cherche à instaurer un certain degré de flexibilité grâce à l'utilisation de patrons pouvant formaliser des situations typiques de collaboration.

Partant du constat qu'il existe un manque avéré au niveau des solutions proposées [Rose, 2004] et prenant en compte le prédicat de [Visser, 2001] considérant que l'activité de conception renvoie à un cadre de *résolution de conflits*, nous présentons dans ce qui suit des propositions pour combler ce manque effectif de référentiel.

### 2.3.2.2 Proposition d'un référentiel support au processus collaboratif en conception

En nous inspirant de la boucle de la systémique ([Le Moigne 1977], [Le Moigne 1990]), ainsi que des concepts de régulation dynamique issus de la cybernétique [Wiener, 1948], nous proposons d'utiliser le processus de résolution de conflits présenté (Figure 67).

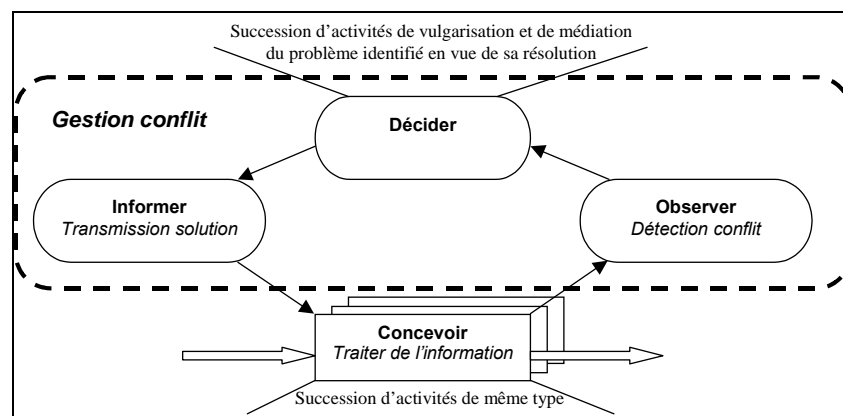


Figure 67 : Boucle de résolution de conflit en conception collaborative

Dans le cas de la gestion de conflits, nous avons reporté en première phase les opérations d'*analyse et d'observation* réalisées par un système à la lumière des informations traitées lors de la phase de *décision* par le système de décision et *mémorisées* par le système d'information/mémorisation [Ericksson, 1997]. Suivant ce protocole, dès qu'un conflit est détecté, **observé** manuellement ou automatiquement, il s'agit de mettre en place un processus visant à **décider**, c'est-à-dire d'enchaîner une succession d'activités aboutissant à une prise de décision pour résoudre le conflit détecté, puis à **informer**, c'est-à-dire de transmettre la solution retenue sur la ou les activités de conception concernées et mémoriser ces actions.

L'objectif visé par ce travail consiste donc à apporter une solution de manière à :

- Disposer d'un référentiel pour la conception collaborative afin de capitaliser les décisions et justifications prises dans ce processus particulier qu'est la gestion de conflits afin de mettre à disposition facilement ces connaissances dans le cadre d'un projet nouveau de manière à, soit ne pas refaire les mêmes erreurs, soit à aboutir plus vite à la solution sans renouveler ce conflit et sans « réinventer la roue »,

- Favoriser la collaboration entre acteurs en permettant une représentation, une confrontation et la communication des perspectives des différents participants [Buckingham, 1997] en proposant une aide à la conception,
- Mettre en place un processus dynamique décrivant l'utilisation de ce référentiel lors de différentes situations de conflit, tout en s'intégrant dans le processus de conception.

Nous basons la modélisation du référentiel autour des concepts d'« *activité de collaboration* », comme étant une spécialisation d'une activité du processus de conception, et d'« *itération* », comme découlant du caractère itératif inhérent à ce type de processus. Nous définissons une itération comme étant la répétition d'une activité déjà accomplie afin d'y incorporer de nouvelles informations [Ulrich, 2000] et permettant l'utilisation de processus heuristiques de raisonnement conduisant à un cycle de recherche d'informations, d'analyse de ces informations, d'identification des possibles révisions dans la conception et l'implémentation de ces révisions avec l'ambition d'atteindre un objectif précis [Adams, 1999].

- **Point de vue statique**

Aussi de manière à proposer un référentiel supportant ces concepts, [Rose, 2004] a proposé un diagramme de classe (Figure 68) issu d'une démarche supportée par une succession de modèles UML [Booch, 1998], pilotée essentiellement par les cas d'utilisation qui servent de fil conducteur tout au long de la spécification [Gzara, 2000].

Les concepts manipulés sont les suivants :

**Activité de collaboration** : cette activité particulière est un sous-type d'activité. Elle est instanciée suite à la découverte d'un conflit. Elle comporte les différents attributs nécessaires à la résolution de ce conflit (éléments caractéristiques du conflit définissant le contexte de l'occurrence de celui-ci) ainsi que le nom de l'acteur l'ayant découvert, dans un souci de traçabilité de l'information.

**Utilisateur** : Acteur participant au processus de conception qui est abonné à l'activité de collaboration en fonction de ses compétences et de son niveau d'expertise par rapport au domaine.

**Itération** : C'est une classe abstraite qui se décompose en différents types d'itérations. Un lien permet d'obtenir l'enchaînement logique de ces itérations. Une liste d'utilisateurs abonnés ayant été recrutés pour participer au processus de collaboration est rattachée à chaque itération.

**Itération de résolution** : Itération utilisée lors de la négociation du conflit via des phases de vulgarisation/médiation.

**Itération de demande de vote** : Itération faisant suite à la phase de négociation, instanciée après une certaine durée afin de choisir une solution via un vote. Cette itération est uniquement de type informationnelle.

**Itération de vote** : Itération dans laquelle un des acteurs participant au processus de résolution est invité à exprimer son choix via ce mode de suffrage.

**Itération de clôture** : Itération visant à clore le processus de résolution en proposant une solution au conflit posé. Elle comporte toutes les informations nécessaires pour pouvoir réutiliser la solution et les justifications évoquées, ainsi que tout l'historique de cette décision finale.

Ce diagramme de classe et les différentes classes et attributs le composant forment un modèle statique d'un référentiel de gestion de conflits. En vue de le mettre en pratique, un certain nombre de règles d'utilisation sont spécifiées.

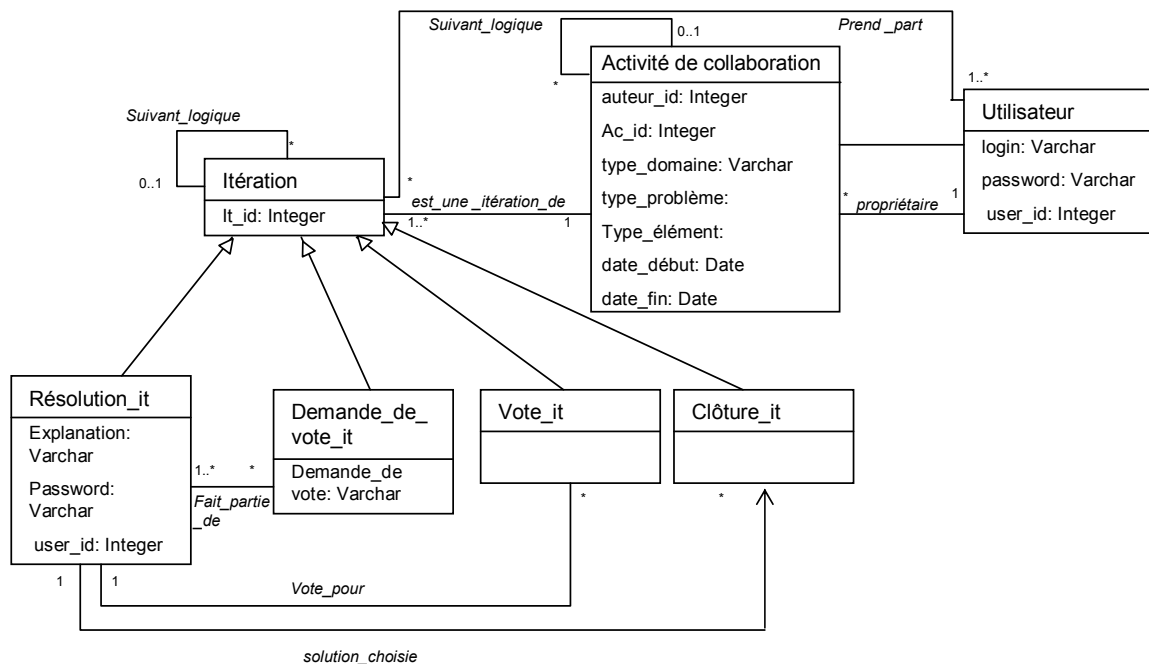


Figure 68 : Diagramme de classes UML de gestion de conflit issu de l'analyse précédente

### • Point de vue dynamique

De manière à capitaliser les conflits, ceux-ci sont indexés, à l'aide de critères qui les caractérisent au travers d'une ontologie [Dieng, 2001], pour permettre une base de réflexion partagée en vue d'une compréhension mutuelle. Une application a été réalisée dans le cadre du projet RNTL IPPOP chez ALSTOM Moteur.

La mise en œuvre du référentiel décrit à partir du modèle présenté

via le référencement de l'activité de collaboration en fonction des paramètres de l'ontologie sélectionnée nécessite cependant un certain nombre de règles et de protocoles à suivre dans le but d'instancier et de passer d'une instance de classe à une autre.

La première étape correspond à la déclaration du conflit en instanciant le concept « *Activité de collaboration* ». Elle justifie son existence par l'explication de l'origine du conflit. Elle est déclenchée suite à la demande de collaboration formulée par un acteur ayant découvert un conflit. L'acteur reçoit un formulaire permettant d'initialiser la résolution du conflit en saisissant les différentes caractéristiques du conflit (nom de l'auteur, qualification, domaine de compétence du conflit, type de problème, type de composant concerné). Les paramètres d'initialisation liés au problème rencontré sont instanciés à partir d'ontologies. L'acteur ayant découvert le conflit, ou le cas échéant le chef de projet ou le responsable de l'activité de collaboration, doit en outre définir une liste de personnes internes ou externes au projet afin de les abonner au processus de résolution pour qu'ils puissent intervenir sur le conflit posé. A noter que cette liste peut évoluer en fonction de l'évolution même du conflit ou en fonction des disponibilités ou pré-requis des personnes à impliquer.

On peut cependant différencier deux types de situation lors du déclenchement d'une activité de collaboration :

- soit le conflit est observé au sein d'un sous-projet, et les causes de ce conflit sont totalement cernées et rapidement connues de tous. C'est le cas des conflits intra-projet,
- soit le conflit est certes observé au sein d'un sous-projet, mais l'élément (ou la donnée) posant problème est manipulé et détenu par un autre sous-projet qui n'interagit pas avec le premier. C'est le cas des conflits inter-projets.

La seconde étape correspond à la résolution proprement dite se faisant au moyen d'itérations successives ; la gestion de celles-ci se faisant à deux niveaux :

- *au niveau temporel* : il s'agit de pouvoir suivre et gérer l'historique des échanges d'informations comme dans un logiciel de gestion de projet classique,
- *au niveau logique* : il s'agit aussi de pouvoir gérer les échanges par rapport à un lien sémantique permettant de situer la place des itérations proposées les unes par rapport aux autres. En effet, l'enchaînement des collaborations et des itérations ne respecte pas forcément une relation temporelle eut égard aux disponibilités des personnes impliquées dans le processus.

La mise en évidence d'un graphe d'échanges permet de distinguer des phases d'échange sans prise de décision (Figure 69) par un déploiement vertical où il y a pléthores de propositions diverses échangées, de phases de convergence (Figure 70) par un déploiement horizontal, où dès lors qu'une solution émise semble faire consensus, le groupe d'acteurs travaille à la finalisation de celle-ci.

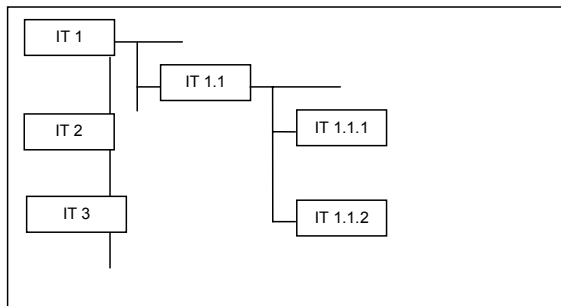


Figure 69 : Déploiement vertical avec proposition de nouvelles solutions (IT1, IT2, IT3, ...)

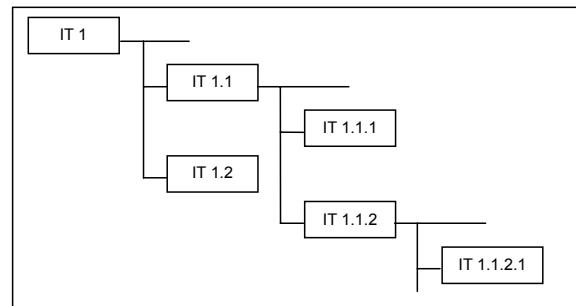


Figure 70 : Déploiement horizontal à partir de l'itération 1 sans proposition de nouvelle solution

La représentation ci-dessous a l'avantage de proposer une vue claire et synthétique des différentes propositions de solutions soumises ainsi que des critiques éventuellement émises sur ces solutions et constitue au final un tableau de bord pour la gestion organisationnelle du projet.

Les instanciations successives du concept d'« itération » permettent de formaliser les échanges menant à une résolution ou tout au moins à une avancée du conflit. L'itération de résolution consiste à répondre au problème posé en proposant une vulgarisation de ce problème pour permettre une phase de médiation au travers de champs « *Explication* », « *Justification* » et « *Solution* ».

Enfin, la dernière étape se fait au travers du concept d'« itération de clôture » et intervient dans trois situations distinctes :

- suite au consensus obtenu par adhésion explicite de tous les acteurs à une solution donnée avant la date de fin de la phase de vulgarisation/médiation posée par un jalon. Cela signifie que les acteurs abonnés ont à l'unanimité donné leur avis favorable pour une solution donnée, via le remplissage de l'attribut « *Justification* » d'une itération, suite à la proposition de cette solution par l'un deux. Dans ce cas de résolution amicale, le chef de projet ou l'acteur ayant la responsabilité de l'activité de collaboration peut automatiquement instancier une « itération de clôture », sans passer par l'étape de vote. On peut aussi envisager une détection automatique de ce consensus, mais cette étape requiert des outils d'analyse sémantique des différentes itérations.
- suite au consensus issu des différentes itérations de vote émises par chaque abonné. Si les contraintes de participation sont respectées, le champ « *Solution* » de l'itération est alors rempli automatiquement par le système avec la solution à utiliser.
- dans le cas d'un échec du vote par manque de participants (quorum de votant non atteint) ou par non-consensus (quorum de voix non atteint), le chef de projet décide de la solution à utiliser et remplit manuellement l'attribut « *Solution* » de l'itération de clôture.

[Rose, 2004] propose également différents indicateurs permettant de suivre les processus de manière à disposer d'une vision dynamique et englobante pour le niveau organisationnel [Robin, 2005a].

Le diagramme de séquence représente le modèle statique du protocole de résolution de conflits.

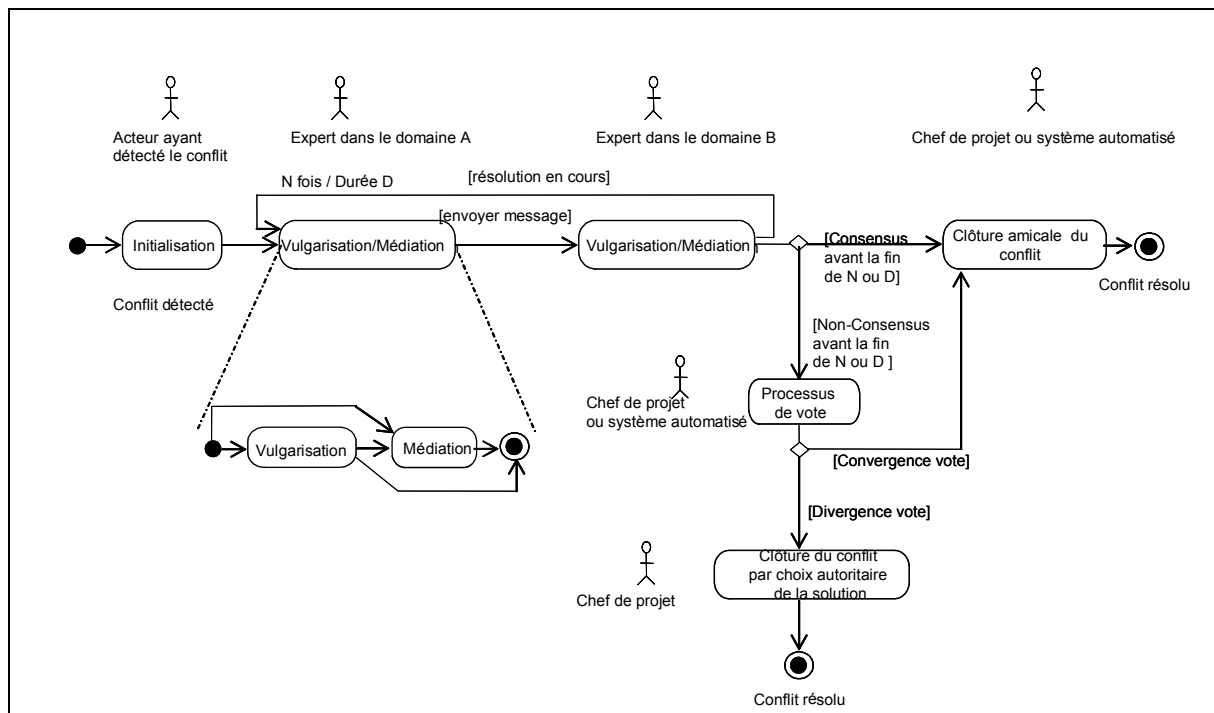


Figure 71: Protocole de résolution

### 2.3.2.3 Validation du référentiel

Le référentiel proposé a fait l'objet d'un prototype logiciel CO<sup>2</sup>MED (*COllaborative COnflict Management in Engineering Design*) de manière à disposer d'un espace collaboratif mais également d'une mémoire d'organisation ou mémoire d'entreprise [Dieng, 2001].

Dans ce contexte, et en regard d'une étude effectuée [Rose, 2004], il a été choisi d'utiliser un environnement de développement EasyPHP<sup>1</sup> permettant de mettre en oeuvre le langage dynamique PHP et son support de base de données MySQL<sup>2</sup> au travers d'un serveur Web Apache<sup>3</sup>. EasyPHP regroupe ainsi un serveur Apache, une base de donnée MySQL, le langage PHP et des outils d'aide au développement. De plus, ce prototype est couplé à PROTÉGÉ<sup>4</sup> pour la saisie des ontologies.

Nous présentons, Figure 72, l'architecture logiciel des différents modules de CO<sup>2</sup>MED. On peut ainsi distinguer quatre modules distincts et indépendants dans l'application :

- Le module d'authentification des utilisateurs qui, pour les tests, se trouvait être une base de données MySQL, mais qui peut parfaitement devenir une toute autre structure capable de lier un identifiant et le mot de passe qui s'y rattache.
- Le module de stockage des données constituant les itérations. La solution choisie pour les raisons évoquées précédemment est un serveur MySQL mais l'application aurait très bien pu se connecter à un autre serveur (Oracle 8i,9i, Sybase ou encore SQL Server).
- Le module d'envoi des e-mails, qui récupère notamment les informations relatives aux coordonnées professionnelles des acteurs du projet.
- Le module de gestion des Indicateurs de Performance, qui consiste en un fichier de requêtes adressées au serveur MySQL afin d'obtenir des statistiques sur les projets passés et la charge de travail en cours.

<sup>1</sup> [www.easypHP.org](http://www.easypHP.org)

<sup>2</sup> [www-fr.mysql.com](http://www-fr.mysql.com)

<sup>3</sup> [www.apache.org](http://www.apache.org)

<sup>4</sup> <http://protege.stanford.edu/index.html>

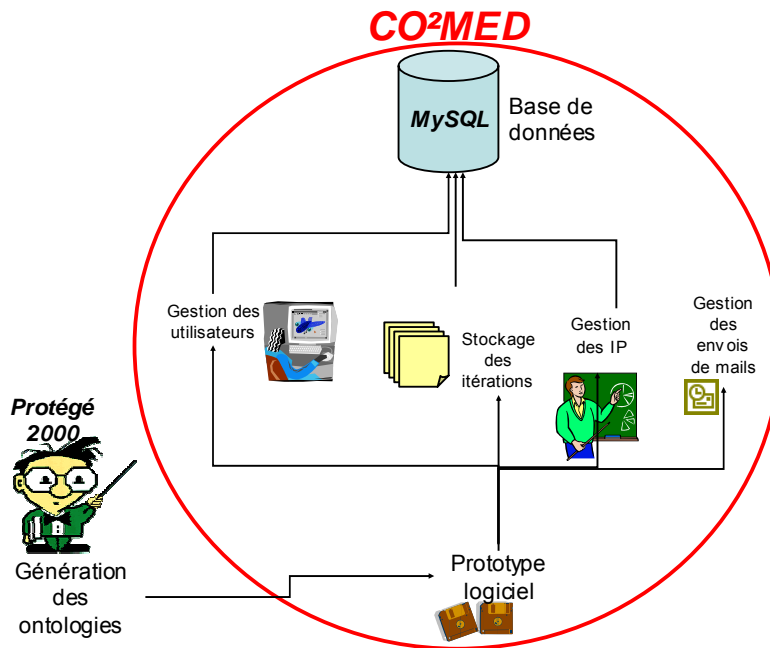


Figure 72 : Modules logiciels du prototype

Ce prototype a fait l'objet d'une intégration dans le projet RNTL IPPOP présenté section 2.3.2.4 et d'une expérimentation in situ chez ALSTOM Moteur Nancy. A partir de leur FAQ (Fiche Analyse Qualité) les ontologies ont été créées. Ensuite, différents conflits apparus en conception ont été résolus à l'aide de CO<sup>2</sup>MED. Cela a permis de valider les différents modules mis en place, le protocole défini ainsi que la fonction de capitalisation permettant entre autre de pouvoir rechercher des conflits similaires dans la base dans le cadre d'un nouveau projet.

Les conclusions des travaux de [Rose, 2004] sont le point de départ de travaux entrepris au sein de notre équipe, notamment ceux de [Ouertani, 2005] par la recherche de dépendance fonctionnelle de données partagées par des sous-projets différents. Ce travail constitue donc, à partir de l'identification d'un conflit, de mettre en place une méthodologie permettant de retrouver toutes les données intercorrélées posant problème de manière à créer une activité de collaboration virtuelle hors sous-projet en invitant les bons acteurs de manière à obtenir une résolution efficace.

Liste de mes principales publications : [A. 4], [A. 5], [A. 8], [A. 9], [A. 10], [A. 11], [B. 4], [B. 5], [B. 6], [C. 8], [C. 11], [C. 13], [C. 17], [C. 18], [C. 19], [C. 20], [D. 1], [D. 2], [D. 3], [D. 5], [D. 6], [D. 7]

#### 2.3.2.4 Projet IPPOP

Les travaux entrepris par [Rose, 2004] sont une des réponses proposées par le projet RNTL IPPOP « Intégration Produit – Processus - Organisation pour l'amélioration de la Performance en ingénierie ».

Ce projet s'inscrit dans une démarche d'intégration des dimensions Produit-Processus-Organisation d'une part, et d'extension des logiciels de CFAO existants en prenant en compte les aspects technologiques liés à la conception d'autre part. Ainsi, il est envisageable de proposer une amélioration continue des performances de l'activité de conception [Robin, 2005b] dans un environnement donné (Figure 73).

Nous présentons brièvement dans ce qui suit son intégration dans le modèle de processus mis en place dans le projet IPPOP. Des répercussions dans les vues produit et organisation sont présentées dans les travaux de [Rose, 2004]. A noter, la collaboration importante qui a été mise en place avec le LAPS-GRAI au niveau du lien collaboration-organisation se traduisant par un ensemble de publications communes (voir à la fin du paragraphe).

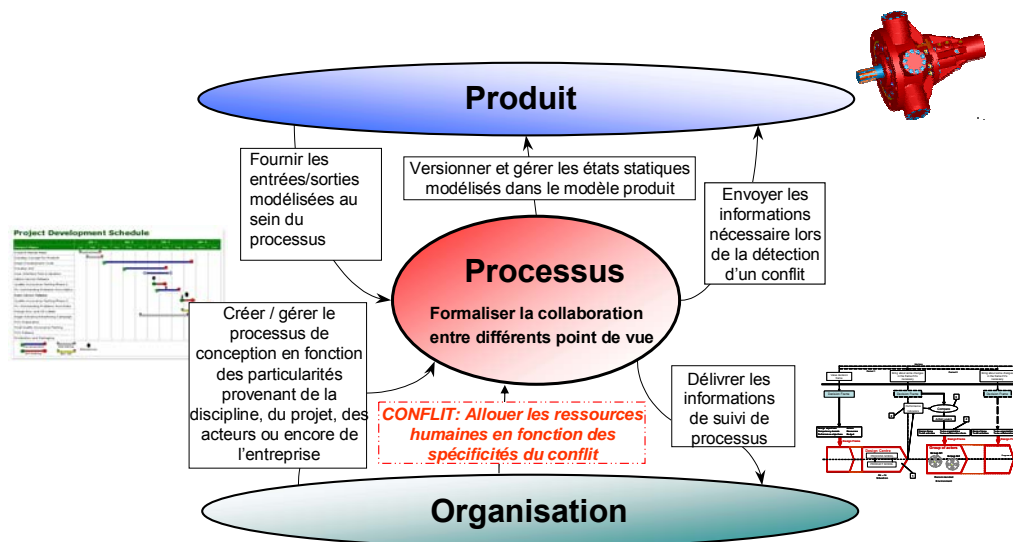


Figure 73 : Objectifs Produit, Processus, Organisation et interactions au sein du projet IPPOP

L'objectif en terme de gestion de Processus dans IPPOP s'applique à **formaliser la collaboration des acteurs et les processus métier sur la base d'une typologie d'activités**. Le référentiel proposé (Figure 68) permet de répondre en partie à cet objectif, et plus spécifiquement en ce qui concerne la collaboration en cas de conflits entre les acteurs en présence. En effet, comme définie précédemment, la notion d'activité de collaboration est un sous-type d'activité au sens de celui défini dans le modèle IPPOP [Nowak, 2004] :

L'**Activité** est ainsi définie comme étant une action effectuée par une ou plusieurs ressources pour satisfaire des objectifs et des contraintes fixés par l'organisation. Un projet de conception suivant un processus précis, ce processus peut alors être vu comme une activité décomposable en plusieurs activités (c'est-à-dire un ensemble partiellement ordonné d'activités). Différentes sortes d'activités sont alors utilisées en alternance ou en parallèle :

- **des activités de conception pure**, qu'il convient de spécialiser à l'aide d'une taxinomie,
- **des activités de collaboration**, devant être mise en œuvre dès qu'un travail, synchrone ou asynchrone synchronisé sur un même objet ou partie de cet objet, est mis en place.

De ce fait, il est possible de créer un sous-type d'activité spécifiquement dédié à la gestion des conflits et héritant des différentes propriétés et relations d'une activité de conception.

Ainsi l'intégration du référentiel proposé au sein d'un processus de conception permet ainsi de décrire l'évolution du processus de conception lors de la découverte d'un conflit et de permettre son suivi tout en modélisant la collaboration entre acteurs métier au sein du processus (via la structuration en activités de collaboration et en itérations ainsi que via la structuration interne de ces itérations). Cette description intègre en outre un flux d'informations « Produit » distillé au sein des échanges.

De plus, la contextualisation des conflits via la déclaration de ceux-ci selon des situations pré-établies (c'est à dire via l'indexation à partir des termes se trouvant dans les ontologies de domaine associées) offre aux acteurs abonnés une vision claire et directe du conflit à traiter et peut éventuellement induire des notions sur le processus de résolution à déployer pour parvenir à une solution optimale du problème à résoudre.

Enfin, le référentiel de gestion de conflit permet de dépasser un verrou partiellement pris en compte dans le modèle de Processus IPPOP, à savoir la gestion de l'historique du conflit (afin de répondre à la quatrième composante des connaissances collaboratives) et la capitalisation de celui-ci en vue d'une réutilisation.

Un certain nombre d'éléments existants dans le modèle de processus IPPOP [Nowak, 2004] peuvent faire naître un besoin de collaboration. Une source potentielle de conflits réside dans les données « *Produit* » transformées ou utilisées par l'activité de conception considérée. Corrélié à cette perspective, l'accès aux données, selon l'état de celles-ci peut aussi être une cause de conflits et mener à l'instanciation d'une activité de collaboration. De même, le passage d'une activité de

collaboration à une autre est conditionné par le degré de maturité que les acteurs accordent à une donnée produite. Ce niveau de maturité peut alors être la cause du déclenchement d'une activité de collaboration si la maturité de la donnée produite par l'activité ne convient pas aux attentes des acteurs. Cependant, l'intégralité de ces relations peut être implémenté, au sein du modèle, via le lien de « *Projet* »-« *Activité de collaboration* » puisque l'activité de collaboration est un sous-type de projet héritant de toutes les propriétés et ainsi les relations de la classe « *Projet* ». La Figure 74 présente une vue intégrée du modèle de gestion de conflits avec le modèle de processus, le modèle d'organisation et le modèle produit. Il apparaît, sur la Figure 74, que la gestion de conflits se présente comme l'élément pivot de l'architecture IPPOP

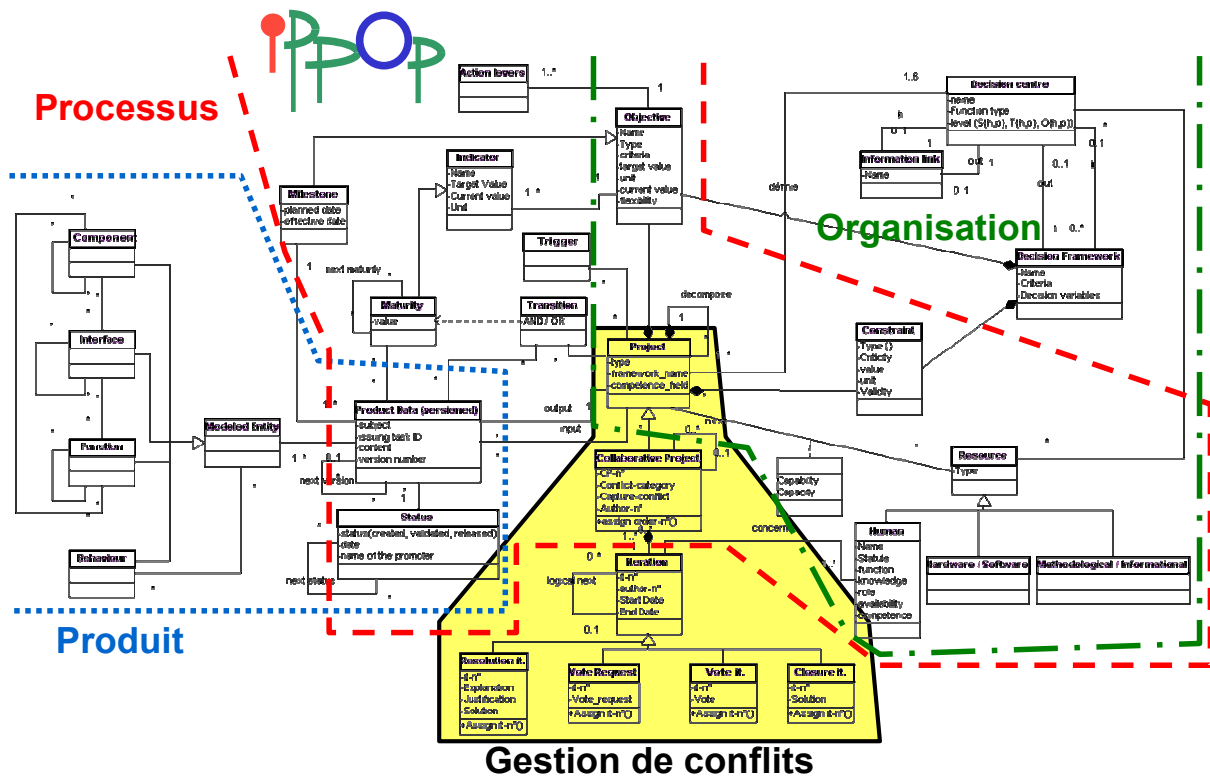


Figure 74 : Vue intégrée de l'environnement Procesus-Organisation autour du modèle de gestion de conflits

Liste de mes principales publications : [A. 1], [A. 6], [B. 2], [B. 3], [C. 1], [C. 9], [C. 14], [C. 15]





---

Chapitre

**3**

**3. BILAN ET PERSPECTIVES DE RECHERCHE**

---

*« Le problème de l'observateur-concepteur nous apparaît comme capital, critique, décisif ... Il doit disposer d'une méthode qui lui permette de concevoir la multiplicité des points de vue puis de passer d'un point de vue à un autre. Il doit disposer de concepts théoriques qui, au lieu de fermer et d'isoler les entités, lui permettent de circuler productivement. »*

Edgar MORIN – La méthode, Edition du Seuil, 1977

### 3.1 PREAMBULE

Les résultats présentés précédemment en terme d'intégration autour des métiers ont été illustrés à chaque section par une vue informelle de l'organisation thématique de mon activité de recherche :

- Ainsi, la section 2.2.2 a présenté une intégration basée sur **une démarche orientée connaissances**. En particulier, les connaissances étudiées sont manipulées en phase de génération de gammes d'usinage et de conception de montages d'usinage. Pour leur modélisation, la logique floue a été utilisée de manière à rendre compte de la sensibilité des experts-métiers ainsi que du contexte dans lequel elles sont utilisées,
- Si la section 2.2.2 peut être considérée comme la partie dynamique de notre problématique au sens du découpage préconisé en modélisation de système d'information traitements/données, la section 2.2.3 a quant à elle présenté la partie statique comme une intégration basée sur **une démarche orientée données multi-points de vue** manipulées au sein d'un processus de conception et réalisation de produit manufacturier. En particulier, les données étudiées présentent la particularité d'être produites et manipulées par des acteurs différents, cela nécessitant de prendre en compte la notion de point de vue inhérent à chacun des acteurs, pour chacune des différentes activités composant le processus. Ainsi, pour leur modélisation, la section 2.2.3 propose une méthodologie basée sur une démarche modulaire, supportée par un méta-modèle étendu de données, permettant de d'ajuster progressivement un modèle aux points de vue des acteurs en présence. Elle a été appliquée dans le cadre du projet RNTL USIQUICK pour la définition du modèle de données supportant les points de vues de la CAO (Conception Assistée par Ordinateur) et de la FAO (Fabrication Assistée par Ordinateur) (section 2.2.4),
- Enfin, la section 2.3.2 a présenté une intégration autour du processus de conception et réalisation de produit manufacturier, en impliquant les acteurs. Cette intégration est basée sur **une démarche orientée collaboration** existante/ou devant exister tout au long du processus de conception et réalisation de produit. Le caractère collaboratif du processus induit des conflits multiples (compréhension ou acceptabilité) couplés au caractère antagoniste de la conception (ex. faire léger mais résistant). Aussi, dans le cadre du projet RNTL IPPOP, la plate-forme CO<sup>2</sup>MED a été proposée pour : *favoriser* l'échange de connaissances pour la résolution de conflits (typologie selon différentes ontologies métiers), tracer les échanges entre acteurs (pour le pilotage du processus de conception d'un point de vue organisationnel) et capitaliser (dans un souci de réutilisation) les connaissances échangées et produites dans le cadre de la résolution de conflits.

Ces propositions, initiées par des problématiques autour de la modélisation de produit manufacturier au sein de son cycle de conception et réalisation, ont été abordées sous différentes facettes. A chaque fois, l'objectif a été d'aider, d'assister, voire d'automatiser certaines tâches du travail de l'acteur-métier.

Suite à ces résultats, et de manière à positionner mes travaux dans de nouvelles perspectives de recherche, une **formalisation de mes thématiques de recherche et de leurs liens** est proposée. Pour effectuer cette modélisation, j'utilise une méthode permettant de valider le passage d'une expression informelle en langage naturel à un modèle formel représentant les concepts principaux mis en évidence dans mes travaux.

La méthode retenue est la méthode de modélisation NIAM (Nijssen Information Analysis Method) [Nijssen, 1989] [Habrias, 1988] ou ORM (Object Role Modelling) [Halpin]. Le choix de cette méthode est principalement justifié par :

1. La méthode de modélisation conceptuelle NIAM/ORM est basée sur la linguistique. Elle permet, à partir d'informations verbales/textuelles non structurées contenues dans le langage naturel, d'en proposer une représentation formelle sous forme d'un modèle relationnel binaire. Les phrases complexes du langage naturel sont décomposées en phrases plus simples (dites « phrases élémentaires »), représentables en formalisme NIAM/ORM. La méthode impose, entre autre, pour chaque relation de donner le prédicat (verbe) en langage naturel pour la relation exprimée et de s'interroger sur sa forme inverse (où le sujet devient complément et le complément devient sujet). Par la suite, la méthode propose une validation originale du modèle basée sur la génération de

son expression équivalente en langage naturel binaire ainsi compréhensible par tout non spécialiste du formalisme utilisé.

2. Le formalisme utilisé pour la modélisation NIAM/ORM est basé sur une représentation graphique détaillée des concepts et de leurs relations. Il fait partie des modèles entité-association étendus. A ce titre, il permet le sous-typage et dispose d'un certain nombre de contraintes ensemblistes lui conférant un fort pouvoir d'expression sémantique. En ce sens, son formalisme est adéquat pour proposer, à partir de l'expression informelle de mes travaux, la représentation formelle attendue sans perte de sémantique.
3. La méthodologie NIAM/ORM a été approchée à plusieurs reprises au cours de différents travaux présentés sections 2.2.2 (pour la définition sémantique du modèle informationnel de la logique floue implémenté dans le prototype FUKKAP) et 2.2.3 (pour expliciter la notion d'objets composites et complexes à l'aide du concept de substantivation).
4. Enfin, au sein du CRAN et en parallèle à mes travaux de thèse, [Mayer, 1995] a proposé une utilisation et une interprétation intéressante du principe d'émergence formalisé en NIAM/ORM. En effet, [Mayer, 1995] définit l'émergence comme pouvant résulter de l'interaction informationnelle recherchée entre deux objets d'étude. Les résultats de ses travaux montrent comment ces objets émergents font, à leur tour, apparaître de nouveaux objets d'étude eux-mêmes pouvant contribuer à d'autres émergences. Aussi, cet enchaînement en cascade contribue à fournir un cadre générique et génétique de modélisation. J'utiliserai ce mécanisme pour montrer la logique d'enchaînement de mes travaux.

L'approche méthodologique étant précisée, je présente dans ce qui suit son utilisation pour la mise en évidence des objets d'étude/objets de connaissance contribuant à la définition d'une ontologie métier c'est-à-dire au sens de l'élaboration d'un modèle de connaissance comme souligné par [Roche, 2003]. En effet, il est possible, au travers d'une ontologie de conceptualiser un domaine d'application qui a un ou plusieurs vocabulaires « métier » et de conserver un consensus et une cohérence dans la description des concepts partagés.

En conséquence, mes propositions portent sur la formalisation d'un cadre méthodologique de recherche basé sur mes travaux passés en Génie Productique. Ce cadre méthodologique s'appuie sur la modélisation NIAM/ORM de mes travaux passés mettant ainsi en évidence leur cohérence et les résultats obtenus. Sur ces bases formelles, je montre qu'il existe des mécanismes, typages d'objets, typages de relations, ... à généraliser. Aussi, sur la base des travaux de [Favre, 2004], je propose de contribuer à la définition d'un méga-modèle de données de manière à définir un cadre méthodologique formel plus large pour contribuer à la définition d'une ontologie métier en Génie Productique.

## 3.2 MISE EN EVIDENCE D'OBJETS DE CONNAISSANCE CONTRIBUANT A UNE ONTOLOGIE METIER

De manière à illustrer mes propos, la démarche de modélisation est présentée de manière incrémentale en mettant en évidence les phases les plus importantes de mes travaux.

Il s'agit dans un premier temps de sérier les différents domaines (dits « univers d'intérêt » en NIAM/ORM) sur lesquels ont porté mes travaux. En effet, depuis les années 1980 avec l'avènement du CIM puis de l'ingénierie concourante, l'intégration des outils logiciels supports a été un objectif majeur. Cette problématique d'intégration est à mon sens toujours d'actualité car elle a trop souvent été abordée que d'un point de vue purement Génie Logiciel et non métier. En effet, il ne suffit pas de se poser la question, pourtant délicate, de trouver puis fédérer les objets communs partagés entre plusieurs outils logiciels, même si au demeurant ces objets rendent complexe leur modélisation car ils présentent des caractères de synonymie, d'hyponymie<sup>1</sup> et d'hyperonymie<sup>2</sup>. A titre d'exemple, et en regard des mes préoccupations, l'étude bibliographique menée par [Derigent, 2005] sur l'intégration de la chaîne Conception/Réalisation de produits manufacturiers montre que de nombreux travaux ont

<sup>1</sup> Hyponyme : terme dont le sens est inclus dans le sens d'un autre qui est son hyperonyme (Petit Larousse). Exemple : Cabriolet est un des hyponymes de voiture.

<sup>2</sup> Hyperonyme : terme dont le sens inclut le sens d'autres termes, qui sont ses hyponymes (Petit Larousse). Exemple : meuble est l'hyperonyme de siège, qui est lui-même l'hyperonyme de fauteuil.

porté sur les univers de la conception et de la réalisation sans jamais chercher à proposer une intégration de ceux-ci.

Ces univers sont couverts partiellement par des outils logiciels qui concourent à assister les acteurs de la conception par des outils CAO (Conception Assistée par Ordinateur) et à assister les acteurs de la fabrication par des outils FAO (Fabrication Assistée par Ordinateur). Ces outils logiciels manipulent divers objets. Ces objets peuvent être communs à plusieurs outils XAO d'un même univers d'intérêt. Ils peuvent être également communs à plusieurs univers d'intérêt différents. Les écueils en terme d'intégration proviennent justement des difficultés liées à la définition/caractérisation de ces objets communs, se situant à l'interface entre deux (ou plus) univers d'intérêt et n'étant pas toujours porteurs du même sens d'un univers d'intérêt à un autre.

Aussi, il apparaît qu'une modélisation cognitive peut contribuer à garantir la cohérence des objets manipulés et permettre ainsi la modélisation de leur intégration.

### 3.2.1 Contribution de l'intégration à la définition d'une ontologie métier CFAO

Soient les deux univers d'intérêt disjoints portant respectivement sur la CAO et la FAO. Une des problématiques du projet RNTL USIQUICK, présentée section 2.2.4, porte sur la mise en place d'une réelle chaîne CFAO intégrée. Il s'agit donc dans un premier temps de mettre à disposition de la FAO un modèle produit, défini par la CAO, nécessaire à la génération de sa gamme d'usinage. Comme illustré Figure 75, ces deux objets appartiennent à deux univers d'intérêt différents.

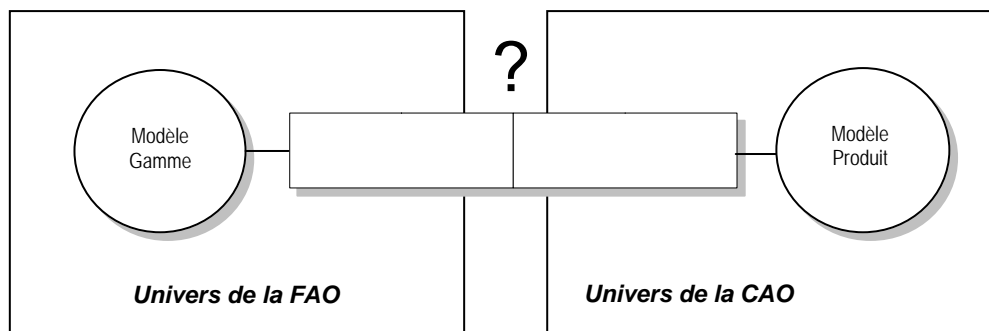
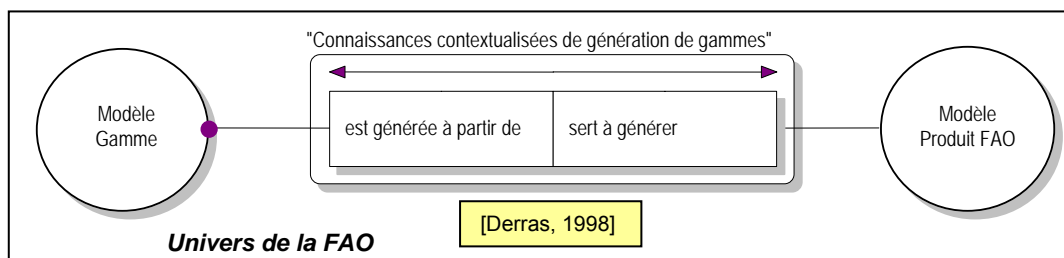


Figure 75 : Comment mettre en relation deux univers d'intérêt différents au moyen de deux objets d'étude propres à chacun d'eux ?

Les travaux autour de la gamme de fabrication montre que la génération de celle-ci se fait à partir d'un modèle produit FAO, modèle dans lequel la sémantique est compréhensible uniquement par l'univers d'intérêt de la FAO.

Par exemple, de nombreux travaux ont porté sur la génération de gammes d'usinage à partir d'un modèle à base d'entités d'usinage. Une étude bibliographique menée par [Derras, 1998] confortée par celle de [Derigent, 2005] souligne l'état des de ces travaux et de leurs résultats. A titre d'exemple, le modèle produit utilisé par PROPEL [Tsang, 1987] est basé sur le concept d'entité d'usinage et non d'entité de conception et constitue donc un modèle produit FAO (Figure 76) et non un modèle produit CAO.



Chaque Modèle Gamme est généré à partir de un ou plusieurs Modèle(s) Produit(s) FAO.  
Un Modèle Produit FAO sert à générer un ou plusieurs Modèle(s) Gamme(s).  
Connaissances contextualisées de génération de gamme est une substantivation  
de la relation entre Modèle Produit FAO et Modèle Gamme

Figure 76 : Formalisation NIAM/ORM d'une génération de gammes d'usinage et son équivalence en langage naturel binaire

Rappel synthétique (pour plus de détails voir section 2.2.2) :

En particulier, et relativement à cette problématique, les travaux de [Derras, 1998] ont eu pour objectif d'apporter une contribution partielle à la génération de gamme d'usinage en se plaçant dans le prolongement des propositions de [Brissaud, 1992] au niveau de la modélisation de l'expertise métier du gammiste. Plus précisément, son travail a permis de rendre contextualisable les connaissances utilisées en génération de gammes. En effet, ils se positionnent comme une contribution à une réponse partielle à la formalisation de l'expertise nécessaire en proposant de :

- Formaliser l'expression imprécise des informations relatives aux connaissances de génération de gammes d'usinage,
- Formaliser les règles de savoir-faire manipulant ces expressions informationnelles imprécises,
- Formaliser les incertitudes associées aux différentes décisions produites par ces règles de savoir-faire, par l'association à chaque conclusion de chaque règle un degré de possibilité,

à l'aide d'une méthode basée sur la logique floue, ainsi que de

- Formaliser les gammes d'usinage, en proposant une extension de la logique temporelle permettant de représenter formellement les alternatives de solutions avec leur degré de possibilité. Les mécanismes proposés offrent la possibilité d'agrèger chaque alternative « valuée » par son degré de possibilités avec les autres, de manière à construire un ensemble de processus de fabrication.

La Figure 76 permet de situer ces travaux, en mettant en évidence l'objet d'étude « Connaissances contextualisées » permettant la génération de gammes d'usinage à partir de la définition d'un produit au moyen de son modèle produit FAO.

Ainsi, il s'avère que les objets d'étude identifiés à la Figure 75 ne sont pas les bons et que la problématique de relation entre la CAO et la FAO doit se faire en mettant en relation les modélisations produit existantes dans chacun des univers d'intérêt (Figure 77). Les modélisations produit sont toutes deux basées sur le concept d'entité. Pourtant les entités manipulées ont un sens différent en regard de l'univers d'intérêt auquel elles appartiennent [Deneux, 2002]. Ainsi, il n'y a pas bijection entre une entité du modèle produit CAO et une entité du modèle produit FAO. De plus, il a été admis section 2.2.4 qu'il existe également un vide sémantique entre ces univers d'intérêt.

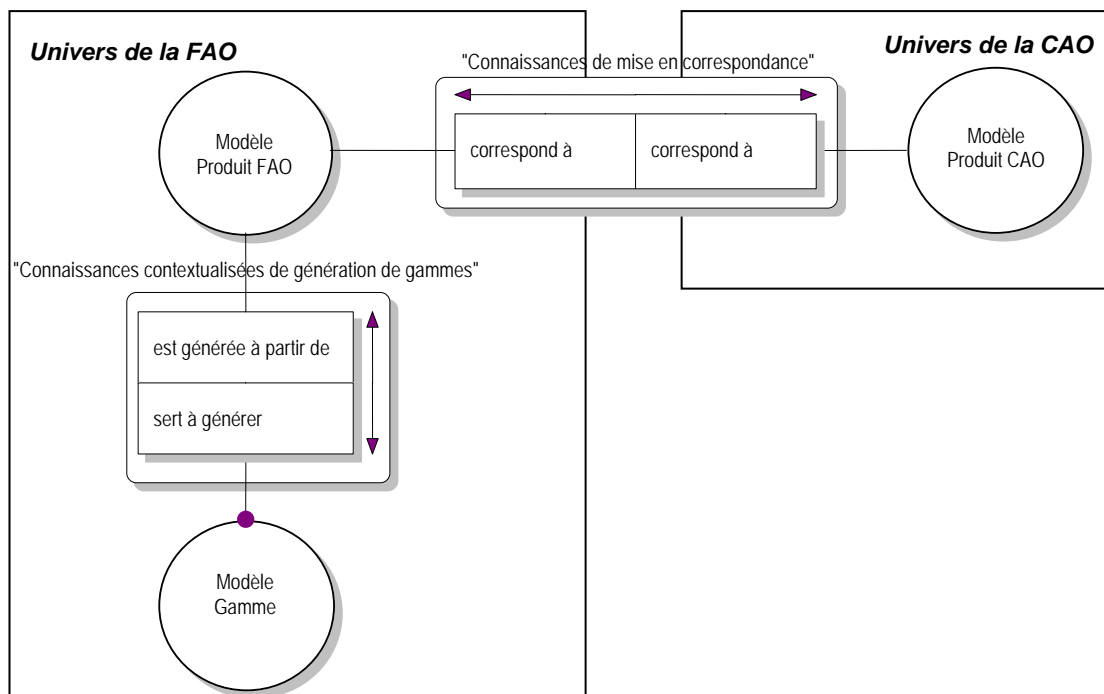


Figure 77 : Identification des objets d'étude à mettre en relation entre CAO et FAO

Aussi, une des clés de la réussite pour relier ces deux représentations produit repose sur des « connaissances de mise en correspondance » contribuant à l'intégration de ces deux univers d'intérêt. En s'inspirant des différents niveaux d'intégration définis en Génie Logiciel [Lhoste, 1994],

diverses solutions peuvent ainsi être envisagées pour répondre au besoin identifié de mise en relation de l'univers de la CAO avec celui de la FAO (Figure 78).

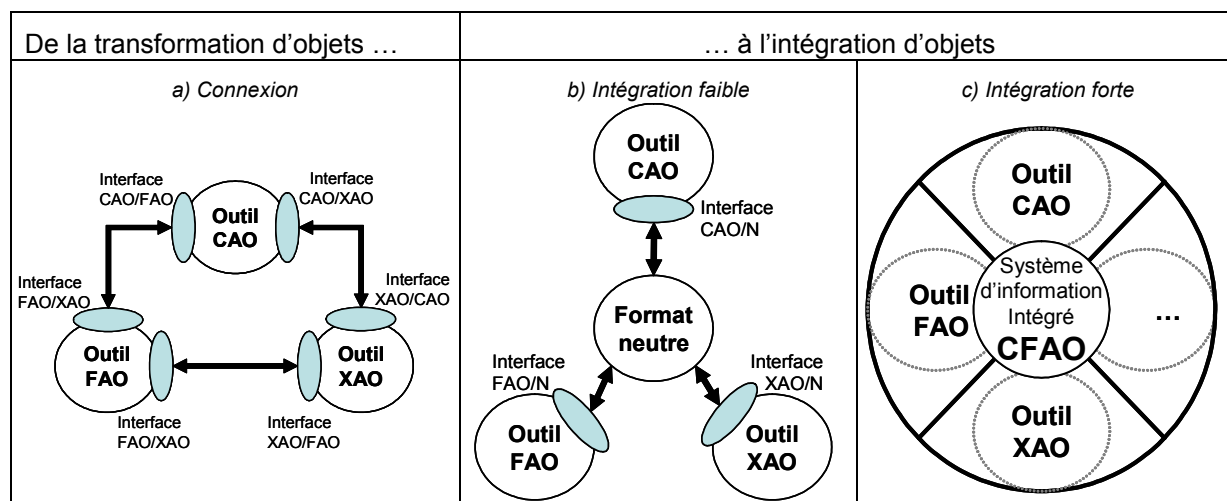


Figure 78: De la transformation à l'intégration d'objets

- a) **Connexion** : ce premier niveau d'intégration est une première phase d'ouverture des outils XAO les uns aux autres, développant leur faculté à pouvoir se « communiquer » des objets. La caractéristique majeure de ce premier niveau réside dans la non-persistance de l'information 'commune' puisqu'elle n'existe qu'au moment de la relation entre les objets propres à chaque outil.  
 ☹ A noter un inconvénient majeur : la connexion nécessite aussi le développement d'autant d'interfaces (pré et post-processeurs) qu'il existe d'outils à interconnecter.
- b) **Intégration faible** : Chaque outil conserve sa propre structure de données, mais en mettant en commun avec les autres outils quelques uns de ces objets. Cette mise en commun n'est pas distribuée dans les outils, comme c'est le cas de la simple connexion, mais est caractérisée « physiquement » sous la forme d'un support « neutre » (fichier neutre ou Base de Données). Des interfaces propres à chaque outil permettent d'assurer l'interface avec ce support. Contrairement au cas de la connexion, l'existence même de ce support peut garantir la persistance et l'intégrité des objets communs manipulés, à la condition que chaque outil garantisse la cohérence entre ses objets propres et ceux qu'il met en commun.
- c) **Intégration forte** : Ce niveau d'intégration correspond à une mise en commun de l'ensemble des objets manipulés par les divers outils concernés. Les problèmes d'intégrité des objets sont alors résolus puisque les informations manipulées par les outils font nécessairement partie du « noyau » d'objets communs.

La connexion, telle qu'envisagée Figure 77, n'est pas retenue en regard des inconvénients majeurs qu'elle présente et parce qu'elle ne répond pas au niveau d'intégration des outils CFAO. Aussi, considérons l'intégration faible qui a pour objectif de relier des objets via un objet neutre intermédiaire. La relation de mise en correspondance entre le « **modèle produit CAO** » et le « **modèle produit FAO** » traduit et supporte les traitements nécessaires pour l'échange d'information entre ces deux objets. Il s'agit ici d'une fonction de transformation permettant le passage de l'un à l'autre. Puisque cette relation n'est pas explicitable directement, eut égard aux deux univers d'intérêts disjoints, elle induit la création d'un objet intermédiaire « **modèle produit CFAO** » (Figure 79), qui peut être vu comme résultant du principe d'émergence au sens de [Mayer, 1995]. Ce « modèle produit CFAO » est à rapprocher du « modèle produit enrichi » proposé dans les travaux de [Derigent, 2005] comme support au transformateur mis en place dans le projet RNTL USIQUICK (section 2.2.4).

De manière à définir ce nouvel objet comme pivot entre les deux autres, il convient d'explicitier les relations entre cet objet et chacun des univers d'intérêt avec lesquels il est connecté (Figure 79) ; ces connaissances faisant émerger de nouvelles connaissances d'enrichissement ou de transformation en regard de l'univers de la CAO et en regard de l'univers de la FAO.

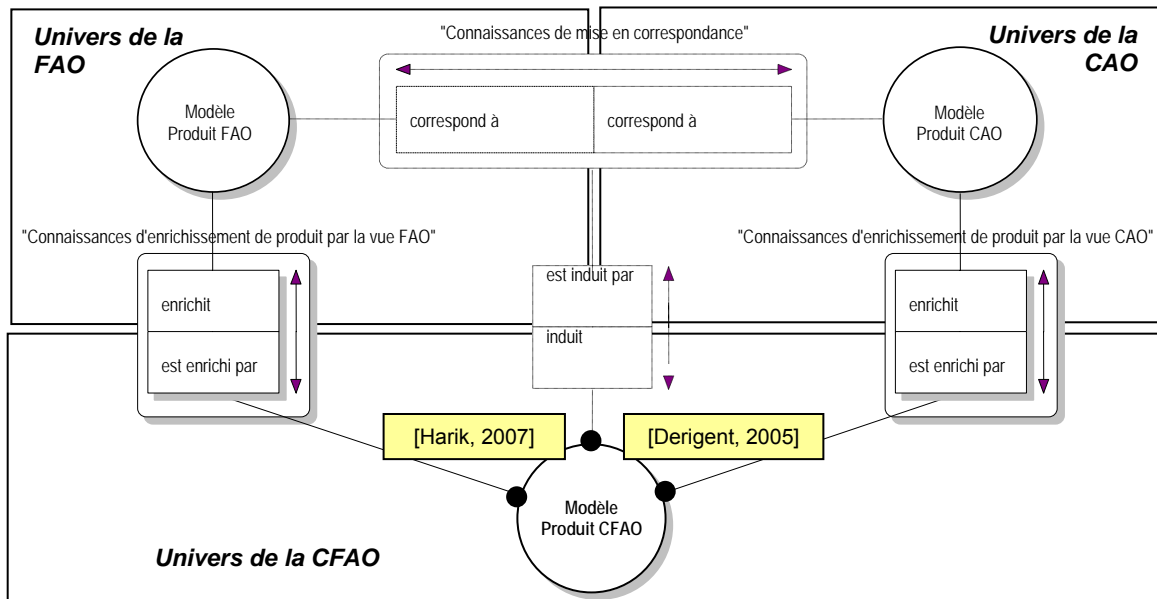


Figure 79 : Emergence de l'objet « Modèle Produit CFAO » et de connaissances d'enrichissement

Rappel synthétique (pour plus de détails voir section 2.2.4) :

Sur cette problématique particulière d'enrichissement, les travaux de [Derigent, 2005] sont basés sur une analyse du comportement du gammiste (ou préparateur au sens USIQUICK) dans le domaine particulier de l'aéronautique. Ils visent à formaliser son raisonnement expert par le biais de règles géométriques et topologiques. La méthodologie proposée s'intéresse à la caractérisation d'entité en regard de l'usinage en bout et est constituée de deux grandes phases :

- une phase d'enrichissement, qui complète le modèle CAO B-Rep initial avec des informations géométriques (type d'arête, type de surface, rayon de courbure minimal de la surface, ...) et technologiques (extrémité d'élanement, coin 5 axes) et qui est nécessaire à :
- une phase d'analyse d'usinabilité, qui sélectionne les modes d'usinage envisageables pour une face donnée et calcule les zones non usinables associées à ces modes à l'aide de calculs d'intersection.

Dans la continuité de ces travaux, [Harik, 2007], doctorant au sein de l'équipe-projet CRAN/NumCOP<sup>2</sup>, conforte cette thématique par l'étude de l'enrichissement du modèle produit dans l'hypothèse d'un possible usinage en flanc de tout ou partie de celui-ci.

De la même manière, en appliquant le processus d'émergence à la relation entre deux objets, l'objet « Modèle Produit CFAO » peut à nouveau se retrouver enrichi dès lors qu'il est considéré comme pivot entre d'autres univers d'intérêt. Ainsi sans détailler plus, les travaux de [Richard, 1997] permettent également d'enrichir cet objet en regard de la problématique de conception de montages d'usinage. En effet, cette phase de conception s'appuie initialement sur des informations provenant des vues CAO (définition du produit) et FAO (définition des parties du produit pouvant être utilisées comme appuis pour le montage d'usinage). Par exemple, le nouvel objet « Modèle Produit CFAO » est à relier avec l'objet « Modèle Montage d'usinage » mettant ainsi en évidence les « connaissances liées à la mise en position et au maintien en position » du produit dans l'environnement délimité par le déplacement de l'outil dans la machine outil dans l'univers d'intérêt de la réalisation (usinage) du produit.

### 3.2.2 Contribution du travail collaboratif à la définition d'une ontologie métier CFAO

Les différents objets étudiés précédemment proviennent d'univers d'intérêt dans lesquels il existe des outils logiciels XAO mais aussi des acteurs humains pour les manipuler. Ces acteurs évoluent au sein d'un processus collaboratif de conception/réalisation de produit. La Figure 80 illustre ce processus. En effet, la Figure 80 met en évidence la relation réflexive ① sur « Modèle Produit » de mise en



correspondance des différents modèles manipulés tout au long du cycle de conception/réalisation du produit par des acteurs. Ce processus met en œuvre des connaissances propres de conception résultant de la mise en relation d'un « Modèle Produit » avec un « Acteur » (② de Figure 80). Ces connaissances répondent à un besoin de conception en terme de définition de produit. Celles-ci mettent en jeu des capacités pointues de l'acteur dans son domaine d'expertise (ou univers d'intérêt), ce qui lui permet de réaliser son activité mais aussi de dynamiser ses connaissances qu'il a du domaine. Ce processus repose également sur un ensemble d'acteurs qu'il convient de faire collaborer pour assurer la réussite de l'objectif qu'ils ont en commun, à savoir la définition du produit. Cette collaboration est représentée par la relation réflexive sur « Acteur » (③ de Figure 80).

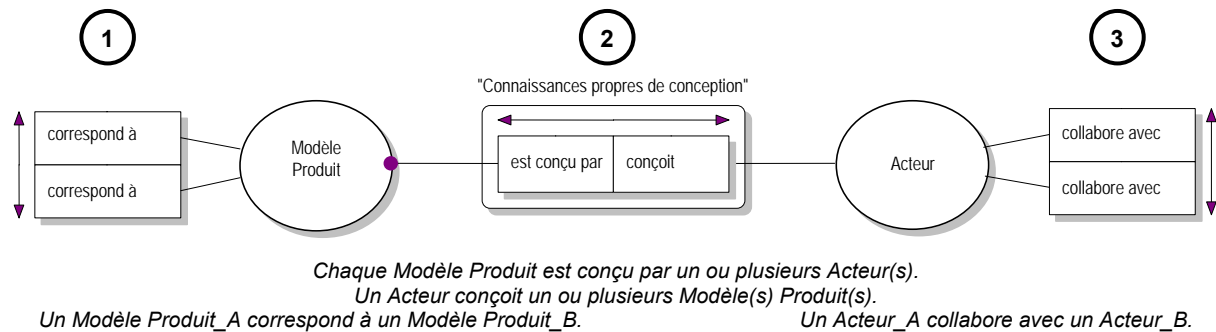


Figure 80 : Modèle de conception d'un produit complexe dans un univers donné et son équivalence en langage naturel binaire

De manière à proposer une synthèse du travail collaboratif en CFAO, il est nécessaire de détailler, pour mieux expliciter, le modèle proposé Figure 80 en en proposant un développement Figure 81 :

- La relation ① de Figure 81 entre les univers de la CAO et de la FAO s'appuie sur le « Modèle Produit CFAO ». Cette partie du modèle reprend les résultats de la Figure 79.
- La conception est réalisée par des acteurs. Pour chaque univers d'intérêt, il existe au moins un acteur réalisant cette activité. La relation ② de Figure 81 met en évidence l'exploitation, par l'acteur, de « connaissances propres de conception ». Ces connaissances mettent en jeu des compétences pointues au sein d'un univers d'intérêt. Ainsi les acteurs des univers de la CAO et de la FAO font appel à des connaissances spécifiques métier.
- du produit tout au long de son cycle de vie, les différents acteurs des différents métiers intervenant dans ce processus doivent collaborer pour garantir la justesse et la cohérence de leur travail. Ainsi, la relation ③ de Figure 81 exprime ce besoin de collaboration.
- En appliquant le principe d'émergence (déjà utilisé pour la définition de l'objet intermédiaire « Modèle Produit CFAO »), pour répondre au besoin de collaboration, il s'en suit l'apparition d'un « Acteur CFAO » permettant de garantir les échanges entre les univers d'intérêt de la CAO et de la FAO. Ces échanges nécessitent la définition et la mise en œuvre de connaissances de vulgarisation [Rose, 2004], sortes d'interfaces d'accès entre acteurs.
- Cet « Acteur CFAO » a pour fonction de supporter l'activité de conception de « Modèle Produit CFAO ». La relation ② de Figure 81 met en évidence l'exploitation par ce nouvel acteur de connaissances issues des univers de la CAO et de la FAO. L'existence de la relation ② correspond à la mise en œuvre de connaissances métier en réponse à un nouveau besoin de conception relativement à « Modèle Produit CFAO ».

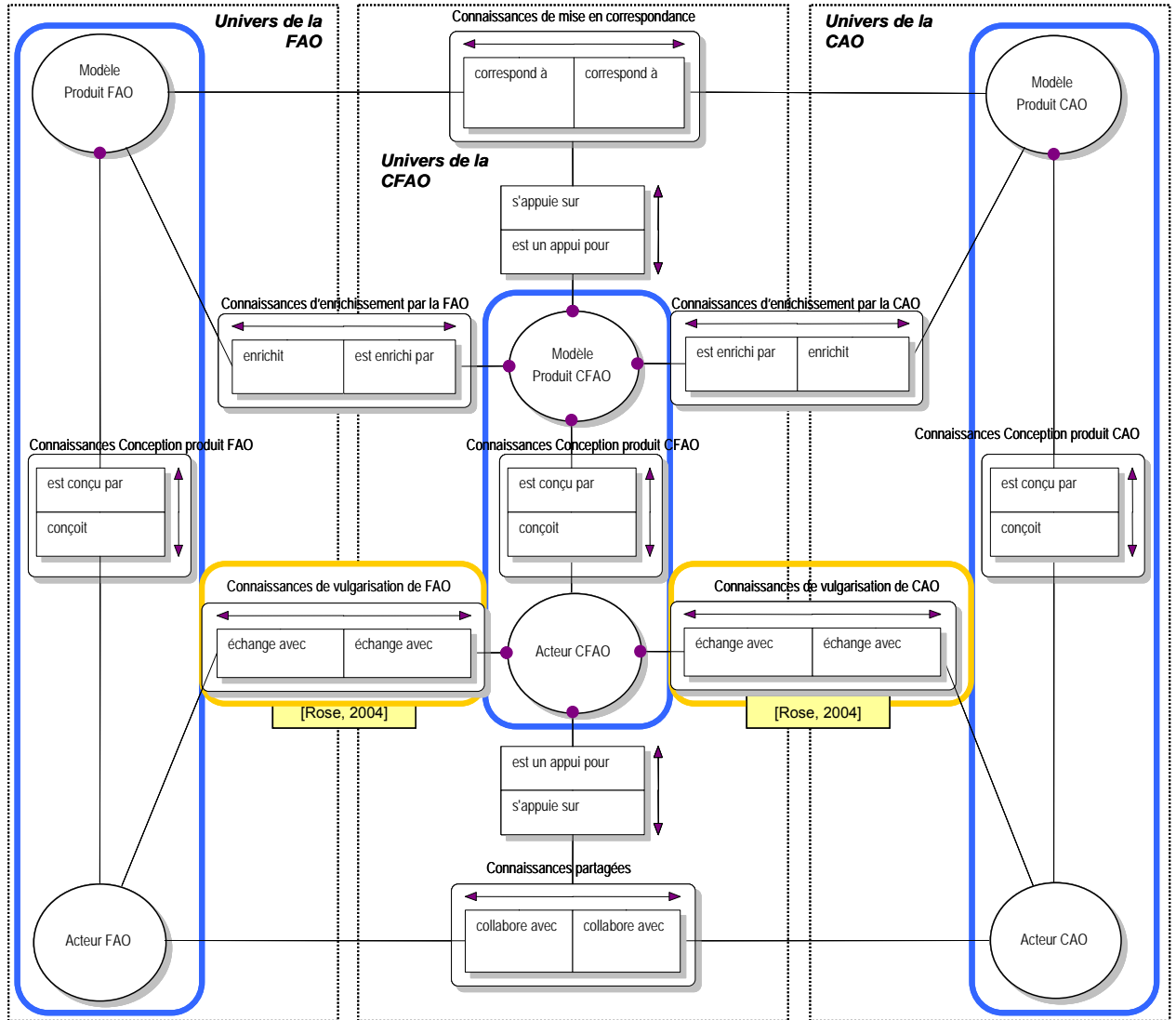


Figure 81: Emergence d'un « acteur CFAO » et d'une relation avec « Modèle Produit CFAO »

Le modèle présenté en Figure 81 formalise la définition d'un « Acteur CFAO ». Il est possible de rapprocher ce type d'acteur de celui introduit lors de la définition de l'organisation du projet Twingo [Midler, 1993]. En effet, pour ce projet innovant, de nouveaux acteurs ont été créés et formés pour répondre à un manque de communication entre outils informatiques. Une formation a été délivrée à certains acteurs pour les préparer à devenir de véritables « encours technologiques » ou « hommes-interfaces ». La Figure 82 présente le principe de cette organisation. A titre d'exemple, la partie basse de la figure présente des acteurs appartenant à des univers d'intérêt (U1 à U3) ne communiquant pas. L'idée a été de former un acteur d'un de ces univers métiers (exemple : un acteur de U3) à un ensemble de connaissances partagées des autres univers d'intérêt U2 et U1. Ainsi cet acteur est devenu référent pour l'univers d'intérêt U1-2-3. De la même façon, la formation d'un acteur référent a aussi été organisée pour U4-5-6. D'un point de vue organisationnel, ces deux univers d'intérêt ainsi créés et disposant d'acteurs métiers doivent également communiquer. Ce processus étant itératif, il s'en suit l'apparition d'un acteur formé aux connaissances partagées de U1-2-3 et U4-5-6, et ainsi de suite. La formation employée est basée sur les connaissances de vulgarisation émise par les acteurs de univers d'intérêt de niveau inférieur. Ce type d'organisation a largement été utilisé pour la définition de projets-plateaux.

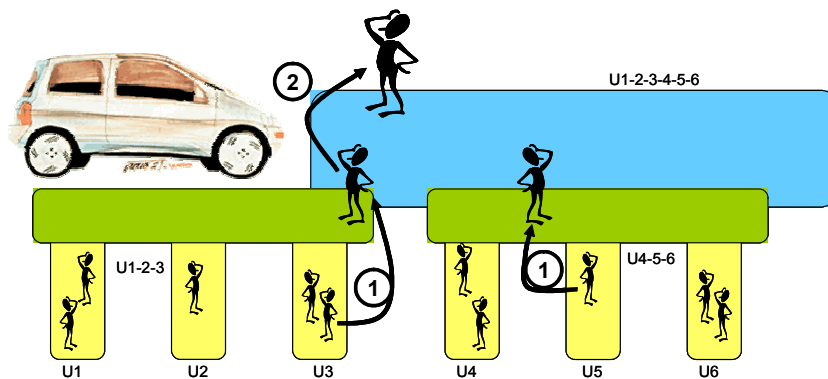


Figure 82 : Définition des « hommes-interfaces » dans l'organisation du projet Twingo

Rappel synthétique (pour plus de détails voir section 2.3.2) :

Les études sur ce sujet sont très diverses et traitées par différentes communautés scientifiques. [Rose, 2004] présente différents travaux amenant à la conclusion d'utiliser, pour la collaboration, un support ad hoc afin de pouvoir exploiter pleinement les richesses des connaissances collaboratives émises mais aussi produites.

Dans ce contexte, et de manière à assister ces nouveaux acteurs, les travaux de [Rose, 2004] ont contribué à spécifier et réaliser une application logicielle partielle permettant notamment :

- une communication aisée dans un contexte de conception distribuée,
- une assistance dans le travail quotidien des concepteurs en leur fournissant un outil capable de créer un espace collaboratif lors de situations de conflits techniques,
- une réutilisation des connaissances développées ou mises en œuvre lors de la résolution de conflits similaires.

Le travail de [Rose, 2004] s'inscrit dans le projet RNTL IPPOP, et a été conforté sur le plan organisationnel et managérial par les travaux entrepris conjointement au LAPS GRAI par [Robin, 2005].

Dans la continuité de ces travaux, [Quertani, 2006], doctorant au sein de l'équipe-projet CRAN/NumCOP<sup>2</sup>, conforte cette thématique par une méthodologie permettant de définir et de tracer les processus intra et inter-projets dans lesquels la collaboration doit être intégrée. Il s'agit alors de donner des moyens au pôle organisationnel pour définir une équipe d'acteurs à impliquer dans un processus de collaboration, de piloter cette équipe, de décider en fonction des choix proposés et de mesurer l'impact des nouvelles solutions émises pouvant induire des modifications tant sur l'organisation des données que des processus mis en place.

### 3.3 SYNTHÈSE ET PERSPECTIVES

#### 3.3.1 Structure génétique simplifiée d'objet de connaissance

La formalisation partielle de mes travaux de recherche permet ainsi de montrer comment mettre en correspondance des univers d'intérêt manipulant des vues métier différentes mais ayant un objectif commun : la conception et réalisation de produits manufacturiers.

Pour effectuer cette mise en correspondance, j'ai interprété le mécanisme d'émergence de [Mayer, 1995] utilisant le principe de substantivation (transformation d'une relation en objet) de NIAM/ORM, qui est à rapprocher d'une approche par intégration faible proposée en Génie Logiciel (Figure 78).

Ce principe, largement illustré précédemment, peut aussi être interprété comme un Modèle de référence génétique simplifié d'objets de connaissance (Figure 83).

En effet, dès qu'il est nécessaire de mettre en correspondance l'**Objet X**, de l'Univers d'intérêt X, avec l'**Objet Y**, de l'Univers d'intérêt Y, et que cette mise en correspondance ne peut pas se faire de façon immédiate, des connaissances sont à mettre en place pour lier les deux objets (① de Figure 83). Cette émergence induit alors un nouvel **Objet Z** (② de Figure 83). Afin de compléter la définition de cet **Objet Z**, des connaissances de liaison entre ce nouvel objet et les deux objets dont la relation est à l'origine de son émergence sont alors nécessaires (③ de Figure 83).

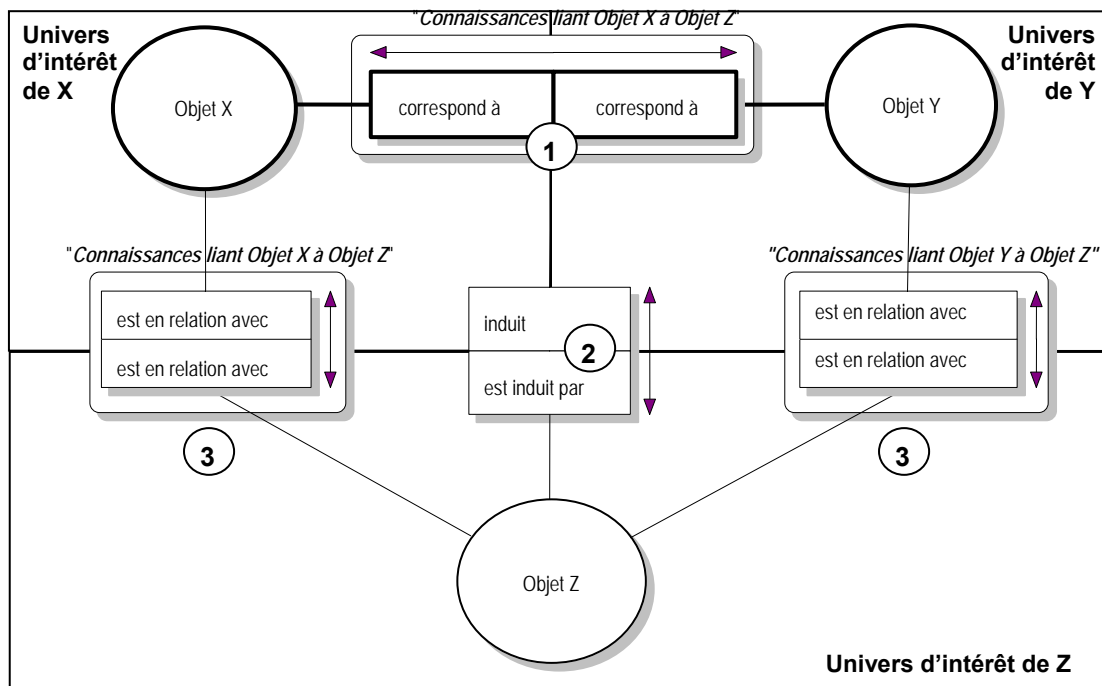


Figure 83 : Modèle de référence génétique simplifié d'objets de connaissance d'après [Mayer, 1995]

Ce modèle a été appliqué précédemment sur des relations ayant pour objectif de mettre en correspondance des objets provenant d'univers d'intérêt différents.

Sachant que ces relations de mise en correspondance ne sont pas les seules manipulées en modélisation de système, je propose dans ce qui suit de les étudier plus avant, de manière à voir s'il n'existe pas des invariants de modélisation en regard de la sémantique de la relation à mettre en place. Sur la base des modèles NIAM/ORM précédents formalisant mes travaux passés, l'existence de tels invariants me permettra de proposer quelques perspectives d'évolution de mes travaux pour contribuer à l'élaboration d'une ontologie métier. Aussi, je propose au paragraphe suivant un typage sémantique des relations entre objets de connaissance de manière à guider syntaxiquement et sémantiquement la modélisation au travers d'un « méga-modèle » ontologique des métiers de la conception/réalisation de produits manufacturiers.

### 3.3.2 Typage sémantique des relations entre objets de connaissance

De manière à généraliser la structure induite par le modèle de la Figure 83, je propose dans ce qui suit d'étudier les interprétations possibles de ce modèle de référence en fonction de la nature de la relation liant deux objets.

Pour identifier les différents types de relation, je me base sur les travaux de [Favre, 2004] qui présente la modélisation d'un système comme pouvant être vue comme un enchaînement de relations (Figure 84) qui sont :

- $\lambda$  – *Représente* : Cette relation est la clé du processus de modélisation. Néanmoins, il n'existe pas de définition universelle pour le concept de modèle. Toutefois, il est admis que *modèle* et *modèle étudié* sont deux rôles complémentaires au sens de cette relation. La relation, qui lie un modèle à un système étudié, est notée  $\mu$ . De manière simplifiée, un modèle est UNE représentation restreinte d'un système, représentation utilisée pour répondre à des questions ou en regard d'un univers d'intérêt (modèle de spécification, modèle de description).
- $\varepsilon$  – *Est élément de* : Cette relation correspond à la notion d'élément définie dans la Théorie des ensembles.
- $\delta$  – *Est décomposé en* : Cette relation représente la décomposition d'un système en sous-systèmes et ainsi de suite, permettant ainsi de définir un système complexe en le décomposant de manière à le simplifier.
- $\chi$  – *Est conforme à* : Cette relation définit la notion de méta-modèle en précisant qu'un modèle doit être conforme à son méta-modèle. Un méta-modèle est un modèle du langage de modélisation utilisé qui par relation d'instanciation ou de particularisation permet de construire un modèle. La relation  $\chi$  est issue d'une composition de relations de type  $\mu$  et  $\varepsilon$ .

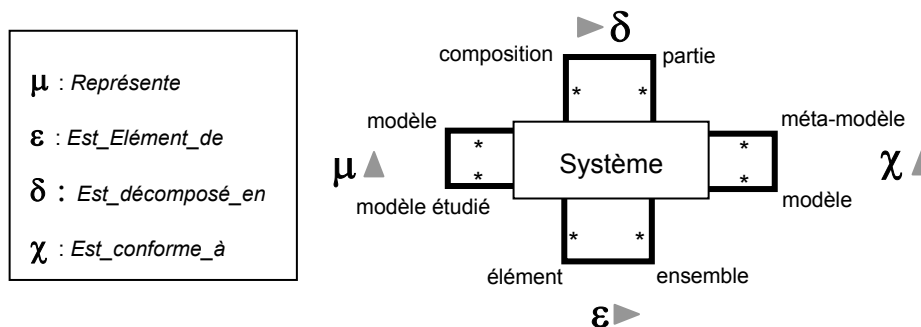


Figure 84 : Un système et ses relations [Favre, 2004]

En regard de ces définitions et par rapport aux modèles présentés précédemment, je propose en Figure 85 de formaliser les relations proposées par [Favre, 2004] en NIAM/ORM et d'y ajouter un nouveau type de relation permettant de mettre en correspondance des objets d'univers différents. Cette relation n'est en effet pas présente dans les propositions de [Favre, 2004] car il se place dans un univers d'intérêt unique et homogène.

Ce nouveau type de relation que je nomme  $\lambda$  exprime le besoin de mise en correspondance entre divers objets de connaissance appartenant à des univers d'intérêts différents tel que cela a été illustré dans les modèles présentés précédemment.

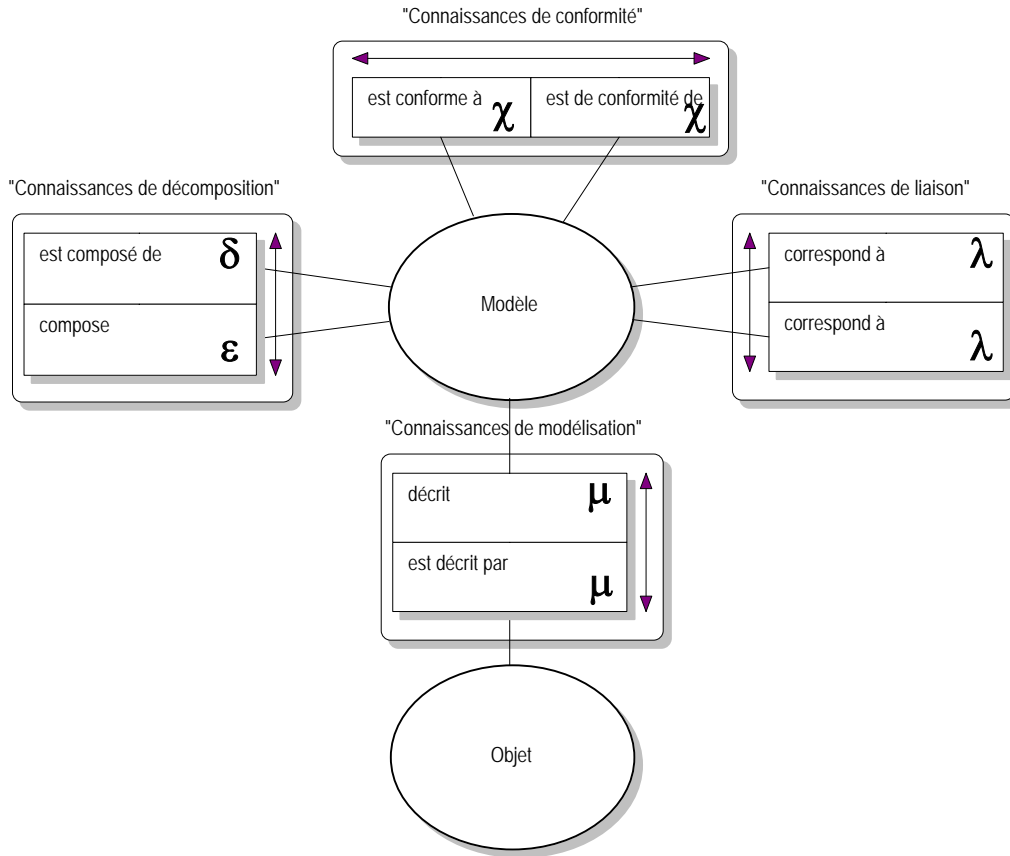


Figure 85 : Définition de méta-relations en modélisation conceptuelle

Dans les paragraphes suivants, je détaille chacune de ces relations et cherche comment proposer des modèles et mécanisme de référence en regard du typage proposé.

En regard du besoin ou de l'objectif consistant à relier deux objets, il est possible d'envisager de déployer le « squelette » de modèle de référence proposé Figure 86. Ce « squelette » a été appliqué et validé pour la mise en relation d'objets d'univers différents. Aussi, je propose de l'appliquer sur d'autres types de relation de manière à pouvoir préciser le mécanisme de déploiement ainsi que les relations et les objets de connaissances qui en découlent.

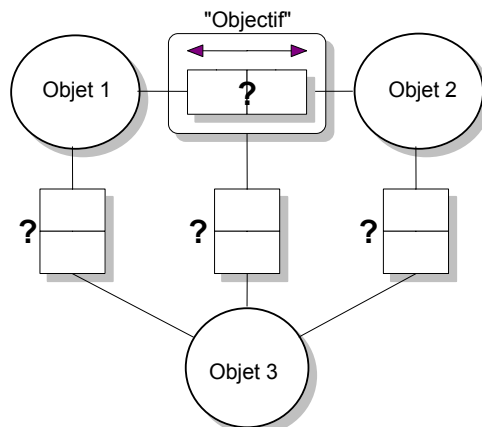


Figure 86 : Squelette de modèle de référence

### 3.3.2.1 Relation $\lambda$

La relation  $\lambda$  permet donc de mettre en correspondance des objets d'univers d'intérêt différents. Ainsi, elle a été utilisée précédemment pour montrer comment relier les univers d'intérêt de la CAO et de la FAO de manière à obtenir une chaîne intégrée de CFAO. Cette intégration est de niveau faible puisqu'elle est réalisée au travers d'un objet intermédiaire.

La Figure 87 illustre de manière générique ce besoin de mise en correspondance de deux objets (Objet 1 et Objet 2) appartenant à des univers d'intérêt ou métiers différents.

Cette mise en correspondance peut poser parfois problème pour différents types de raisons :

- Problème de syntaxe : les objets à relier ne sont pas de même type, ...
- Problème de sémantique : les objets à relier ne sont pas de même niveau sémantique, ont des définitions différentes en regard du métier auxquels ils appartiennent, semblent être identiques alors qu'il n'en est rien, ...

Aussi, si la mise en correspondance ne peut pas se faire en « point à point », il est nécessaire d'appliquer le Modèle de référence de la Figure 87 qui se déploie autour de la substantivation de la relation entre Objet 1 et Objet 2 permettant ainsi l'émergence d'un nouvel. L'objet 3 ainsi obtenu, est identifié comme un objet interface et il est alors plus facile d'envisager des connaissances de mise en correspondance entre cet objet « neutre » et des objets métiers.

La Figure 87 montre de quelle nature sont les relations à mettre en place. Il est possible d'envisager, en perspective, une méthodologie permettant d'accompagner des relations de type  $\lambda$  consistant à effectuer ce type de correspondance.

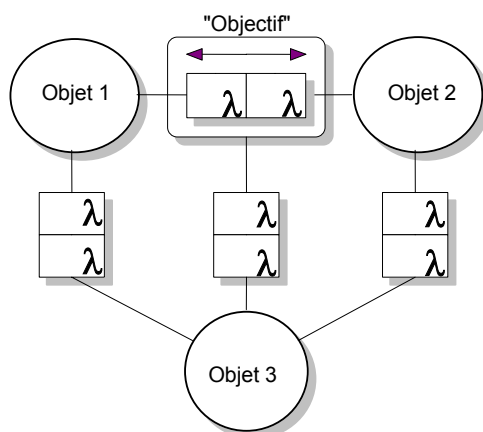


Figure 87 : Modèle de référence générique

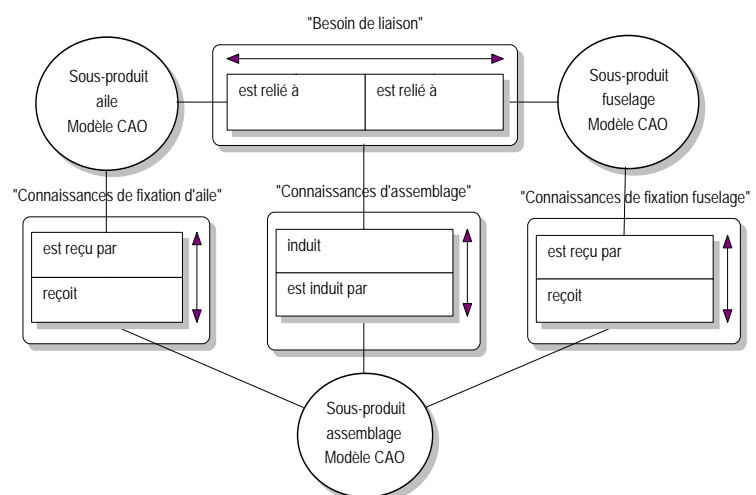


Figure 88 : Exemple de relation  $\lambda$

La Figure 88 illustre une mise en correspondance au sein d'un même univers d'intérêt mais pour la conception d'objets fonctionnels différents. Ainsi, il est possible de considérer des sous-univers d'intérêt en regard des objets de conception. Il s'agit, dans l'exemple proposé, de concevoir les ailes et le fuselage d'un avion. Dès lors que ces objets doivent être reliés, un objet intermédiaire permettant l'assemblage des ailes sur le fuselage peut être considéré comme émergeant de cet objectif de mise en relation.

Dans une certaine mesure, cette problématique de mise en correspondance est à rapprocher de celle traitée autour de la modélisation multi-points de vue. En effet, dans les exemples précédents, les différents modèles produit CAO et FAO ne sont que des vues particulières d'un produit à concevoir ou à réaliser. Ainsi, le produit est vu ici comme un artefact à points de vue multiples.

Dans ce contexte, [Million, 1998] a proposé une méthodologie présentée section 2.2.3. Elle consiste à proposer un « Modèle ajusté » aux points de vue des acteurs à partir de l'enrichissement d'un « Modèle initial » par un « sous-modèle », support des concepts manipulés par un point de vue

donné. La Figure 89 illustre cette mise en correspondance qui se fait au moyen de la notion de « pont » définie par [Picavet, 1997] et [Million, 1998] comme une frontière constituée par un ensemble d'éléments de modélisation de même nature permettant de définir sans ambiguïté un sous-modèle. Le « pont » est ainsi l'objet interface permettant le passage d'un univers de modélisation à un autre en prenant en compte les sensibilités métiers.

Ainsi, le modèle présenté Figure 89 peut être considéré comme un méta-modèle de référence génétique pour la prise en compte des points de vue en modélisation.

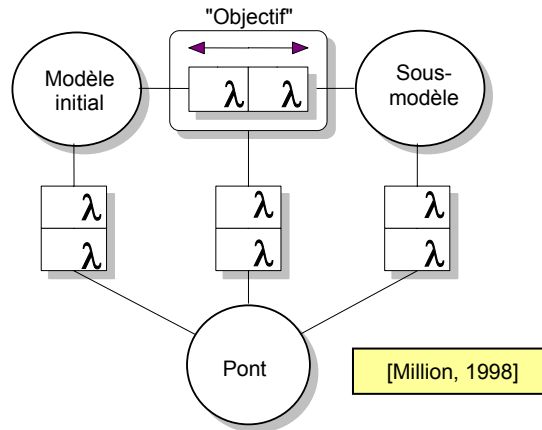


Figure 89 : Méta-Modèle de référence génétique

*Rappel synthétique (pour plus de détails voir section 2.2.3) :*

*La modélisation multi-points de vue permet d'appréhender la modélisation d'un objet en regard de différents univers d'intérêt identifiés au travers des métiers auxquels ils correspondent. Pour ce faire, [Million, 1998] propose la méthodologie V.I.M. (Viewpoint Information Modelling) basée sur un méta-modèle étendu et sur une démarche modulaire par ajustement progressif de points de vue qui introduit progressivement les données. Cette démarche est guidée par une structuration sémantique de la connaissance à modéliser sous forme de schéma sémantique [Picavet, 1997]. Ce dernier permet de représenter, par une structuration simple et progressive, la connaissance à modéliser en termes de fragments de sémantiques et de leurs dépendances.*

*De plus, ce travail propose la gestion du processus de modélisation permettant ainsi de suivre l'évolution des points de vue. Ainsi, à tout moment, en fonction du cadre organisationnel, il est possible de faire évoluer, d'ajouter ou de supprimer un point de vue.*

*Ce travail est à rapprocher de celui de [Bigand, 2005] autour de la définition de modèles pour l'ingénierie des systèmes de conception.*

### 3.3.2.2 Relation $\chi$

La relation  $\chi$  permet de garantir la conformité des modèles établis en regard de l'ensemble des concepts utilisés définis dans un méta-modèle.

Un méta-modèle est défini comme un modèle du langage de modélisation utilisé. Il sert ainsi à exprimer des concepts, leurs propriétés ainsi que les relations existant entre ces concepts. On l'appelle « méta-modèle » parce que c'est le modèle d'un autre modèle. Il se réfère parfois à un domaine d'application et dans ce cas il peut être appelé aussi Modèle de Référence.

La conformité est rendue possible grâce à la mise en place d'un certain nombre de règles pérennes pour le domaine concerné et auxquelles le modèle doit se plier.

La Figure 90\_a illustre que le méta-modèle détermine, au travers de différents choix initiaux, les aspects à inclure dans le modèle en suivant des règles de conformité.

A partir de critères liés aux objectifs de mise en correspondance entre deux modèles (Figure 90\_b), il s'agit de s'appuyer sur des règles de conformité définies a priori dans le méta-modèle (flèche vers le haut en trait pointillé) ou de les définir a posteriori (flèche vers le bas en trait plein). En effet, comme



souligné dans [Terrasse, 2005], le méta-modèle peut apparaître comme l'expression des règles à utiliser lors de la catégorisation, ceci conduisant à le placer en fin du processus de modélisation. La Figure 90\_b illustre cette problématique qui consiste à enrichir les règles de conformité initialement prévues pour la construction de modèle par d'autres règles comme celles nécessaires pour garantir la conformité d'une mise en relation de modèles.

Il est intéressant de noter que l'ingénierie des systèmes d'information n'a qu'une vue réduite de ce mécanisme de modélisation puisqu'elle place le choix du méta-modèle en début de processus : le méta-modèle jouant alors uniquement le rôle d'énonciateur de la théorie (dans la mesure où il définit le langage d'écriture du modèle) et de collection organisée de faits à prendre en compte (dans la mesure où il décrit le domaine d'application).

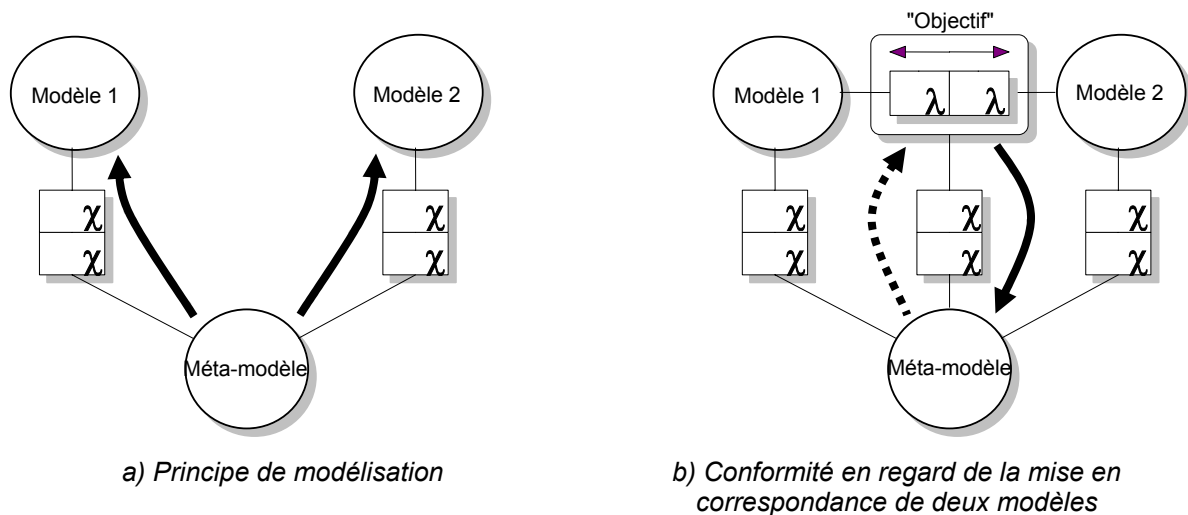


Figure 90 : Modèle de référence de Méta-définition

Ainsi, la Figure 90 propose un modèle de référence de méta-modélisation au niveau des concepts et propose d'étudier la définition des règles de conformité à mettre en œuvre tant au niveau de l'utilisation d'un méta-modèle que de son enrichissement.

### 3.3.2.3 Relation $\mu$

Les connaissances induites par la relation  $\mu$  portent sur le mécanisme d'abstraction nécessaire à la construction d'un modèle. Pour se faire, il est nécessaire d'utiliser un système de symboles et de règles qui agencent ces symboles, signes que l'on tient indissociables de leur capacité d'être à la fois signifiés (ils ont un sens pour qui les émet) et signifiants (ils ont un sens pour qui le reçoit). Le modèle est alors une *interprétation* car il exprime une des sémantiques possibles de l'objet à modéliser ou une *simplification* d'un objet complexe [Terrasse, 2005]. En effet, en Logique, dans le cadre de la Théorie des Modèles [Tarski, 1954], un modèle est un couple « Domaine-Interprétation ».

Aussi, la Figure 91 illustre que pour modéliser un produit physique, deux mécanismes sont mis en place :

- **un mécanisme d'abstraction** par conceptualisation consistant à identifier des objets informationnels et des relations entre eux en regard de l'objet physique à modéliser,
- **un mécanisme de particularisation** consistant à utiliser à bon escient un modèle support d'un contexte de modélisation.

Ainsi, à titre d'exemple, pour élaborer un modèle CAO d'un produit « Avion », l'acteur peut disposer d'un modèle de référence d'avion au sens PDM (Product Data Management) qu'il lui suffira de particulariser en fonction des particularités de l'avion à modéliser. Des propositions en ce sens sont faites dans [Eynard, 2005]. Il peut également utiliser un modéleur CAO utilisant des objets informationnels définis dans STEP AP 238 (<http://www.tc184-sc4.org>) par exemple pour réaliser son activité de conception.

La relation entre « Produit physique » et « Modèle CAO » traduit le besoin de conceptualiser le « Produit physique », c'est-à-dire de lui donner un sens dans le monde des concepts ou objets

informationnels. Cette relation est de type  $\mu/\mu$ . Cette conceptualisation se traduit par un « Modèle Produit CAO » qui est une interprétation de l'objet physique dans un univers d'intérêt donné, et qui est de même nature que le « Modèle CAO » qui a été utilisé.

La Figure 91 met en évidence les types de connaissance pour supporter le processus de modélisation du produit physique dans l'univers d'intérêt de la CAO.

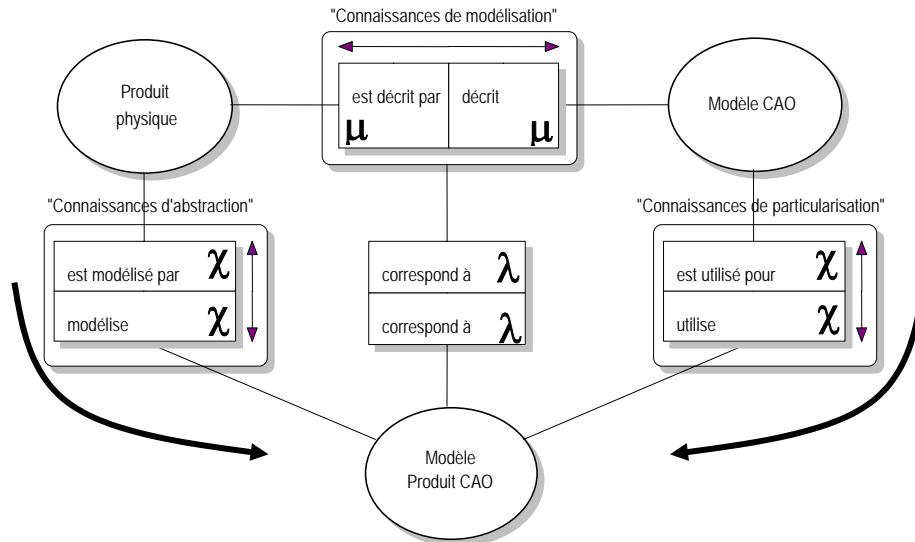


Figure 91 : Modélisation du produit en CAO

De manière générale, la Figure 92 présente un modèle de référence de modélisation mettant en exergue les différentes connaissances à utiliser dans le cycle d'abstraction/particularisation. Ces connaissances portent sur des relations de mise en conformité. Ainsi, il s'agit de définir des règles permettant de garantir le couple « Domaine-Interprétation ». Seule la relation entre « Modèle de l'objet » et « Objectif » (objet substantivé) est de type  $\lambda$ , car elle consiste à mettre le modèle en correspondance avec le besoin de modélisation.

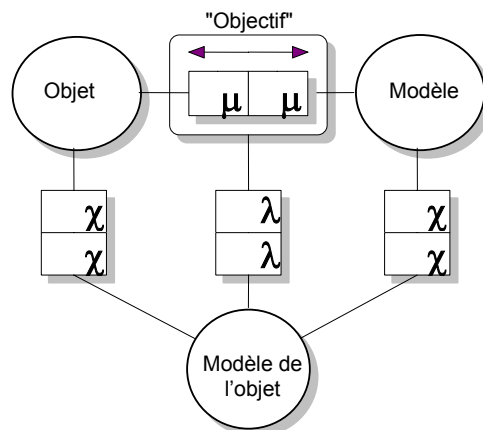
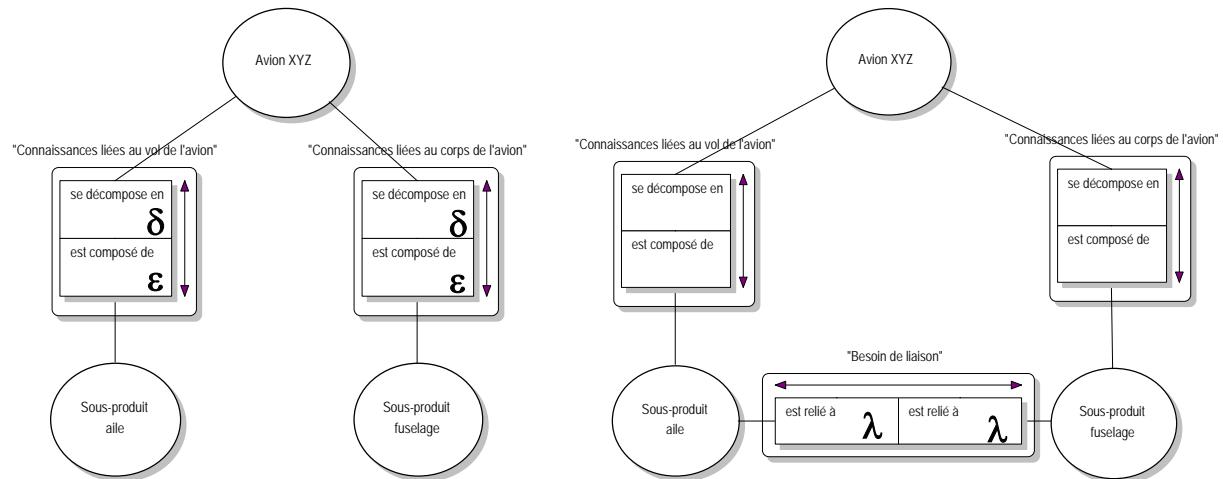


Figure 92: Modèle de référence de modélisation

### 3.3.2.4 Relation $\delta/\epsilon$

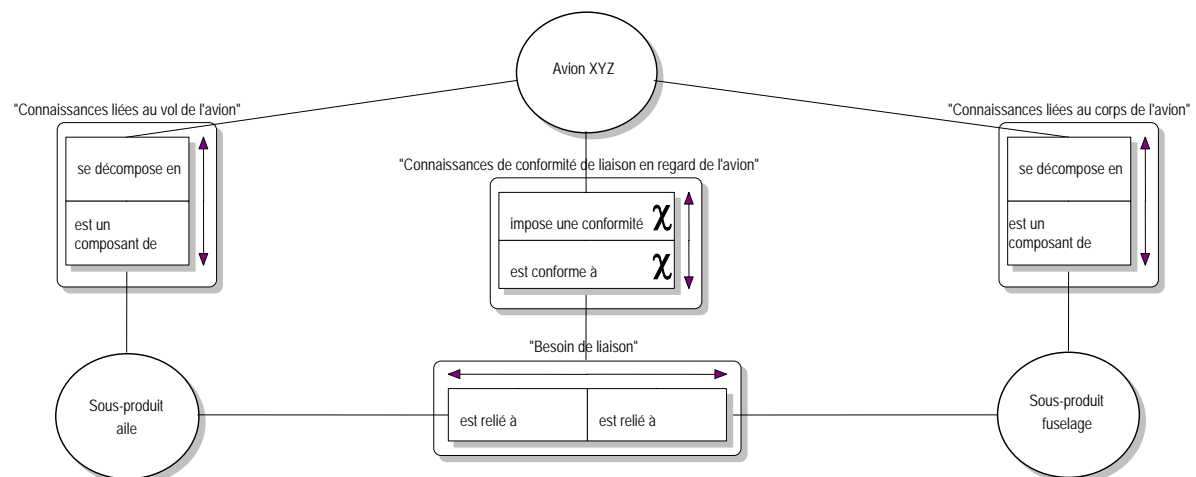
La relation  $\delta/\epsilon$  est utilisée pour la décomposition d'un objet en ses sous-parties. Elle correspond, entre autre, à celle proposée dans le méta-modèle objet PCTE (Portable Common Tool Environment), largement utilisée dans les modélisations PDM (Product Data Management) pour rendre compte de nomenclatures par exemple.

De manière à illustrer cette relation, la Figure 93 présente le déploiement du modèle de référence de décomposition appliqué à la modélisation d'un « Avion XYZ » composé d'un « Sous-produit fuselage » et d'un « Sous-produit aile ». Ce déploiement met en évidence des relations de type  $\delta/\epsilon$  (Figure 93\_a). Pour effectuer cette décomposition, des connaissances particulières sur les sous-produits à mettre en œuvre doivent être considérées (Combien d'ailes ? Quelle forme de fuselage ? ...).



a) Décomposition d'un produit en sous-produits via la relation  $\delta/\epsilon$

b) Objectif de liaison entre sous-produits via la relation  $\lambda$



c) Conformité de la liaison entre sous-produits par rapport au produit global via la relation  $\chi$

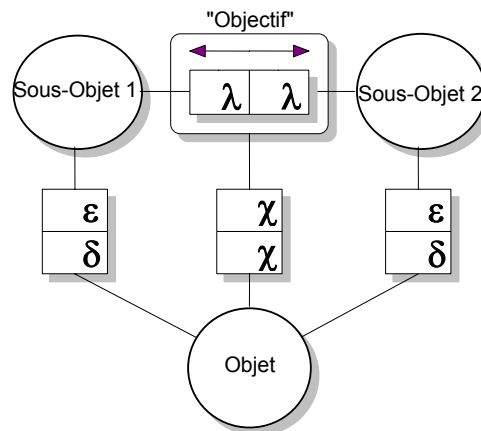
Figure 93 : Décomposition de l'objet « Avion XYZ »

Les ailes doivent être reliées au fuselage. La mise en correspondance de ces deux sous-produits met en évidence un besoin de liaison (Figure 93\_b). Aussi, la relation de type  $\lambda$ , définie précédemment, permet de les relier.

De manière à envisager cette liaison entre l'aile et le fuselage, il est aussi nécessaire de disposer de connaissances de conformité  $\chi$  (Figure 93\_c) pour respecter le cahier des charges général de l'avion par exemple. En effet, cette liaison peut être assujettie, par exemple, aux matériaux ou aux règles de sécurité qui y sont définies.

La Figure 94 présente le modèle de référence à appliquer dans le cadre de la décomposition d'un objet en sous-objets. Ces sous-objets identifiés sont reliés par une relation de mise en correspondance puisque pour assurer l'intégrité du produit, les sous-objets sont reliés entre eux. Cet

objectif de liaison impose une relation de conformité entre l'assemblage formé par les deux sous-produits et le produit. En effet, il s'agit par exemple de concevoir en regard de contraintes globales pouvant être précisées au niveau de l'objet. Ainsi, l'ensemble des sous-objets doit répondre à ces exigences demandées.



$$\text{Objet} = \sum_{i=1}^N \text{Sous - Objet} + \sum_{i=1}^N \text{Relations}$$

Figure 94 : Modèle de référence de décomposition

De plus, la décomposition peut se faire selon différents points de vue métier. Elle permet de fournir une modélisation d'un objet compliqué. Ainsi la prise en compte de critères de décomposition tels que *physique, fonctionnel, structurel, comportemental, ...*, en regard parfois de différents niveaux organisationnels, sont autant de règles à définir au niveau de la décomposition mais aussi au niveau de la conformité attendue par rapport aux objectifs de liaison entre les sous-objets.

### 3.3.2.5 Synthèse autour d'un exemple

L'exemple présenté Figure 95 montre la particularisation des divers modèles de référence dont les canevas ont été proposés précédemment.

**Modèle de référence de méta-modélisation** : il s'agit, à partir d'un « Méta-modèle XAO » d'établir un « Modèle CAO d'avion » de référence, de niveau métier, suffisamment générique pour être particularisé par la suite en regard d'un avion spécifique à modéliser. Dans ce « Modèle CAO d'avion » se trouvent l'ensemble des règles et/ou contraintes pouvant définir sa conception et réalisation future.

**Modèle de référence de modélisation** : il s'agit de modéliser un objet physique particulier. Ainsi, l'« Avion XYZ physique » peut être modélisé en combinant un cycle d'abstraction (du monde physique) et de particularisation (du monde des concepts, cad du « Modèle CAO d'avion »).

**Modèle de référence de décomposition** : il s'agit dans cet exemple de proposer la vue organique de sa décomposition. En regard des préoccupations sur l'objet d'autres décompositions peuvent être envisagées. Ce niveau de modèle de référence doit être la base de la décomposition comme envisagée dans les outils de PLM pour la gestion des configurations [Zina, 2007].

**Modèle de référence de liaison** : il s'agit de relier des objets d'univers ou de métiers différents. Il peut s'agir de mise en correspondance physique comme dans cet exemple, et dans ce cas, il s'agit d'étudier la matérialisation de cette liaison. Mais il peut s'agir, comme exposé dans mes conclusions, de mettre en correspondance des objets informationnels en envisageant leur intégration à différents niveaux. L'application du modèle de référence de liaison a permis ainsi de définir l'émergence du nouvel objet suite à la substantivation entre les objets à relier comme étant de niveau intégration faible au sens du Génie Logiciel.

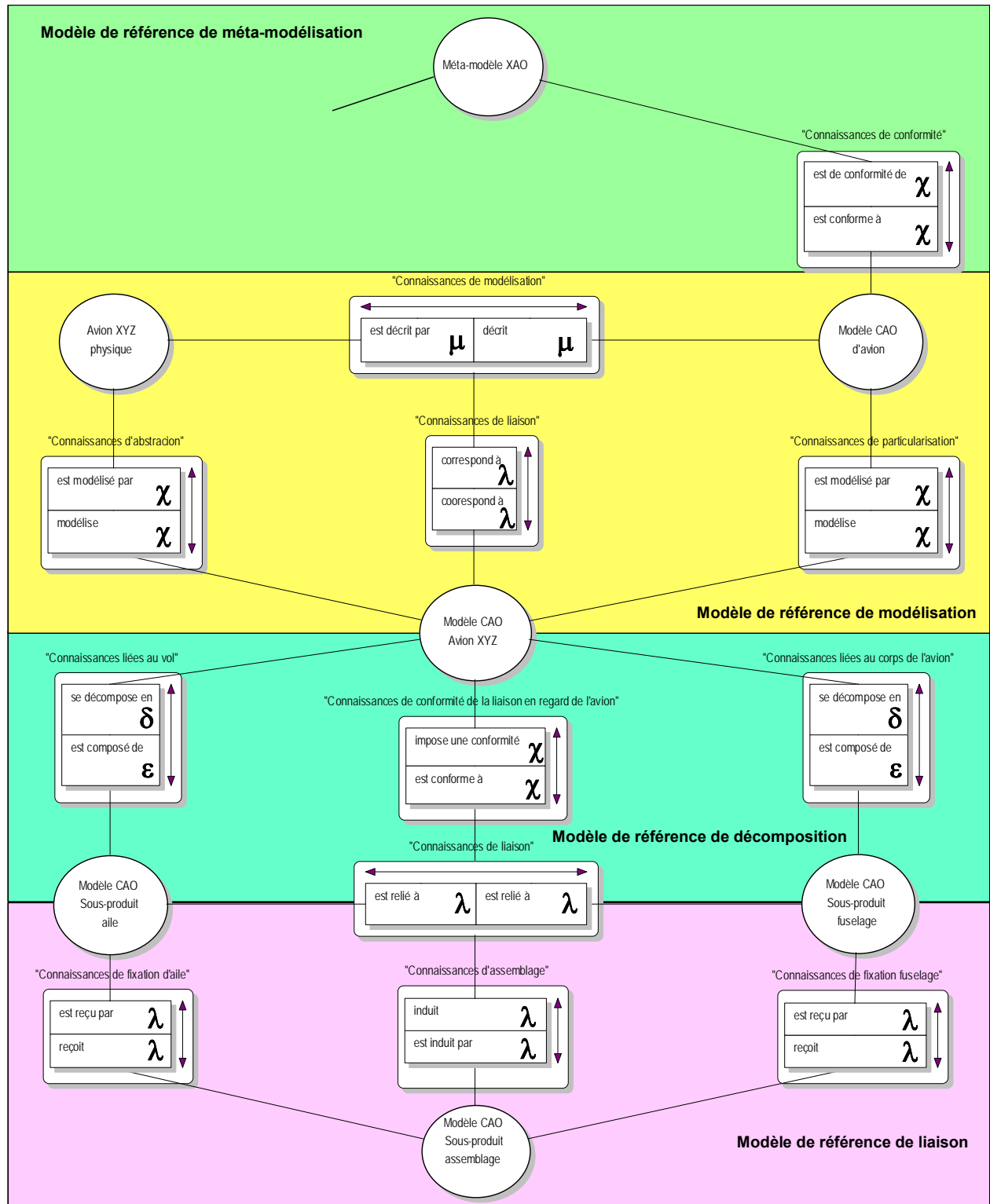


Figure 95 : Illustration des types de relation sur un exemple

La proposition de l'ensemble de ces modèles de référence, caractérisés par le typage des relations qu'ils mettent en œuvre, est une première contribution de la modélisation informationnelle pour la définition d'un cadre méthodologique pour la modélisation des connaissances tout au long du cycle de conception et réalisation de produits manufacturiers. De manière à disposer d'un environnement complet, il est nécessaire de définir l'ensemble de la sémantique dégagée par la typologie des relations au sein de ces modèles de référence. De plus, ces modèles doivent être envisagés dans un cadre métier permettant ainsi la proposition d'une ontologie de domaine. Enfin, je propose dans ce qui suit le mécanisme particulier de substitution permettant d'envisager de passer d'une intégration faible

à une intégration forte au sens du Génie Logiciel. Je propose, pour terminer, de placer toutes ces perspectives au sein d'un « méga-modèle » de référence porteur de mes perspectives futures de recherche.

### 3.3.3 Vers un méga-modèle ontologique des métiers de la conception et réalisation de produits manufacturiers

#### 3.3.3.1 Vers une intégration forte : le mécanisme de « substitution » sur le modèle de référence de liaison

Le mécanisme d'émergence appliqué précédemment a montré comment réaliser une intégration faible. Ainsi, Figure 79, l'objet « Modèle Produit CFAO » a été identifié comme étant un objet intermédiaire entre les objets « Modèle Produit CAO » et « Modèle Produit FAO ».

De manière à envisager une intégration forte, je propose de définir le mécanisme de « substitution » en complément des travaux de [Mayer, 1995]. Ce mécanisme ne s'applique que sur les relations de type homogène  $\lambda$ , il est composé de deux étapes :

- **Etape 1 :** Emergence de l'objet intermédiaire « Modèle Produit CFAO » issu de la relation entre « Modèle Produit FAO » et « Modèle Produit CAO » (Figure 96). A l'issue de cette étape, c'est l'univers d'intérêt de l'objet émergent qui assure la connexion avec les deux autres. Cette étape correspond à une définition de la vue génétique de l'objet intermédiaire.
- **Etape 2 :** Le nouvel objet d'étude étant « Produit CFAO », il s'opère une « substitution » progressive de modèle, comme si l'on procédait à un pivotement du modèle selon l'axe défini par les deux objets à relier. Cette étape est à rapprocher de l'intégration forte en Génie Informatique où « Modèle Produit CFAO » ne serait plus considéré comme un format neutre d'échange entre l'objet « Modèle Produit FAO » et l'objet « Modèle Produit CAO » mais comme un véritable objet intégré CFAO (Figure 96) encapsulant les deux autres objets et leur relation. Cette étape permet de mettre en avant l'objet fédérateur qui correspond à la prise en compte de plusieurs points de vue ; il s'agit donc ici de prendre en compte le point de vue de l'intégration CFAO.

L'application du mécanisme de « substitution » permet ainsi de conserver la vue génétique et ontologique de l'objet « Modèle Produit CFAO » par les objets de connaissance qu'elle renferme.

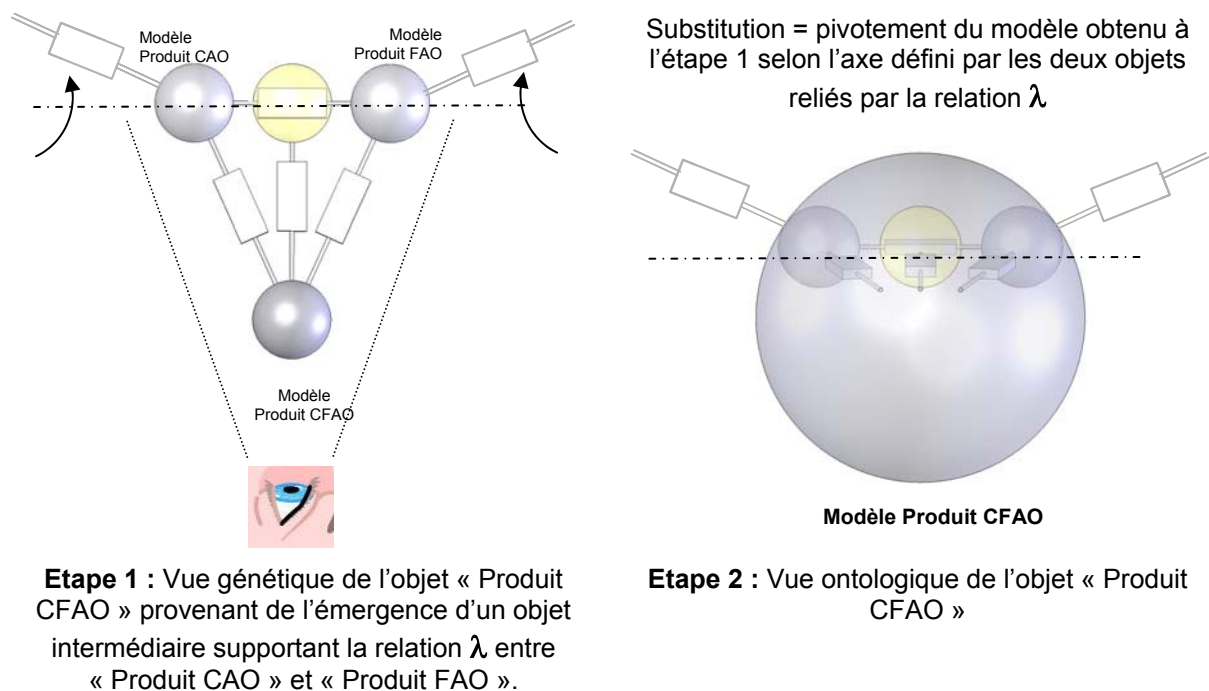
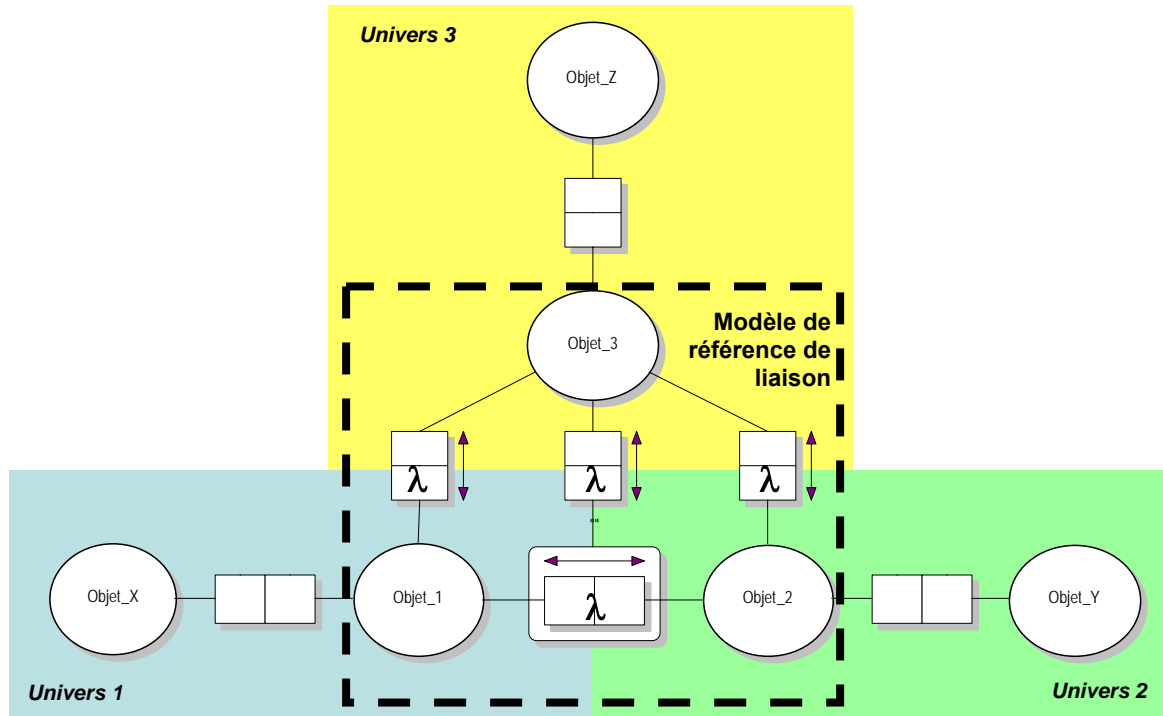
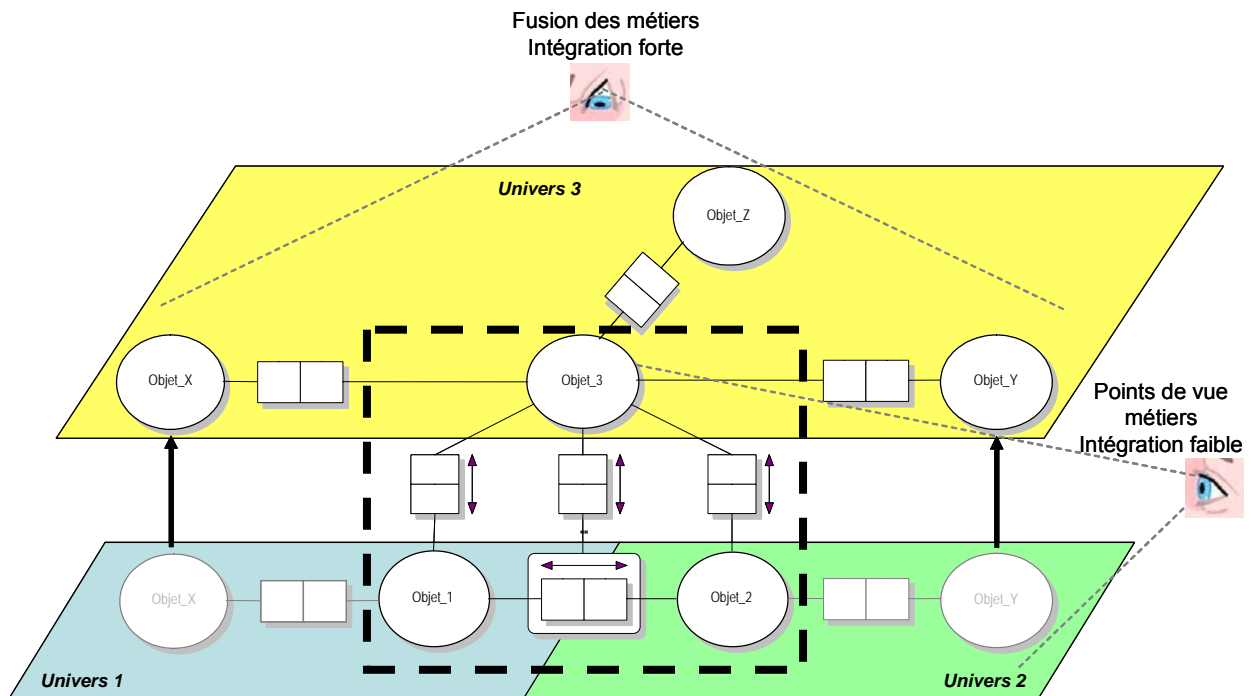


Figure 96 : Mécanisme de substitution

De manière à proposer une vue générale de ce mécanisme, la Figure 97\_a considère la mise en place du modèle de référence de liaison permettant de relier les « Objet\_1 » et « Objet\_2 » via l'« Objet\_3 ». Cette intégration est considérée comme faible au sens du Génie Logiciel car « Objet\_3 » sert d'interface neutre pour les échanges entre ces deux objets voire de traducteur ou de transformateur.



a) Intégration faible



b) Intégration forte

Figure 97 : Mécanisme de substitution sur le modèle de référence de liaison

Afin de progresser vers une intégration forte au sens du Génie Logiciel, sorte de fusion des différents univers d'intérêt, il est nécessaire d'appliquer le mécanisme de substitution défini précédemment.

Ainsi, il s'agit de percevoir l'« Objet\_3 » comme étant la vue englobante des Univers d'intérêt 1 et 2. La Figure 97\_b illustre que les objets en relation avec un des membres du modèle de référence sont dorénavant en relation avec l'objet englobant. A savoir, « Objet\_X » et « Objet\_Y » étant respectivement en relation avec « Objet\_1 » et « Objet\_2 » sont en relation avec « Objet\_3 » dès lors que le mécanisme de substitution est appliqué au sens de la fusion des univers d'intérêt et donc des métiers. « Objet\_3 » est un objet encapsulant les objets qui ont donné lieu à sa création (émergence). Le mécanisme de substitution permet alors de montrer le passage de la vue génétique à la vue ontologique des objets impliqués.

Ainsi, pour compléter la Figure 96, il est désormais possible de ne conserver que l'objet émergent et de considérer les relations qu'il peut avoir avec d'autres objets de modélisation d'autres univers d'intérêt de manière à compléter, via l'application des mécanismes d'émergence et de substitution, la constitution du Système Intégré CFAO au sens de l'intégration forte.

### 3.3.3.2 *Vers un méga-modèle d'étude*

Une nouvelle problématique émerge donc consistant à ne plus entrevoir l'intégration des objets techniques manipulés par le processus de conception/réalisation de produit, comme ici d'un processus de transformation, mais comme procédant d'une réflexion à un niveau d'abstraction plus élevé de manière à envisager une capitalisation de savoir-faire.

Appréhendé au niveau méta-modèle, les travaux de [Million, 1998] ont montré qu'il était essentiel de dégager les concepts nécessaires à une modélisation multi-points de vue de manière à respecter, durant le processus de modélisation, la relation de conformité définie à la Figure 85.

Néanmoins, une approche par extension de méta-modèle n'est pas suffisante, et nous rejoignons les problématiques soulevées par la mise en place de réseaux d'informations et de connaissances [RNTL, 2006]. En effet, cette préoccupation rejoint celle du thème 2 de l'appel d'offre RNTL 2006 (Réseau National de recherche et d'innovation en Technologies Logicielles) et met en avant notamment les notions de composants générique/métier, la méta-modélisation et l'adaptation de modèle. Ce dernier point est à rapprocher des travaux entrepris en Ingénierie Dirigée par les Modèles (IDM) ou en anglais Model Driven Engineering (MDA) [<http://planetmde.org/mda>] [Bézivin, 2004].

Dans ce contexte, il s'agit dorénavant de voir un cadre plus large autour de la notion de méga-modèle définie par [Bézivin, 2005] comme étant « *a model which elements represents models, metamodels and other global entities* ».

Ainsi, il s'agit de proposer les définitions de concepts de méta-modèle support de méthodologies de modélisation mais aussi d'artefacts au sens de la capitalisation de savoir-faire métier et également les relations avec leurs règles, ainsi que les mécanismes de transformation pouvant exister.

La Figure 98 illustre ce cadre méthodologique en mettant en évidence quelques unes de relations identifiées précédemment. L'identification de celles-ci doit permettre de déployer les modèles de référence proposés. Des mécanismes, à l'instar de la substitution, peuvent également être appliqués. Il s'agit d'en définir d'autres par rapport à des modèles de référence appliqués.

La Figure 98 fait la distinction entre différents univers dans lesquels le modélisateur peut se placer :

- **Univers des formalismes** : correspondant aux concepts et grammaires utilisés pour modéliser, indépendamment d'un contexte d'utilisation. NIAM/ORM ou UML sont des exemples de tels formalismes fédérateurs proposés par le Génie Logiciel.
- **Univers du domaine** : correspondant à l'ensemble des concepts nécessaires à la modélisation d'un domaine donné. On y trouve un méta-modèle, sorte de modèle de référence défini à partir des concepts manipulés dans l'univers des formalismes appliqués à un contexte donné.
- **Univers du métier** : correspondant à différents modèles spécifiques à un métier donné, en regard, par exemple, d'un découpage fonctionnel du produit ou organisationnel de l'entreprise.
- **Univers d'intérêt** : correspondant à des sous-univers métier de manière à pouvoir gérer des projets complexes par exemple.



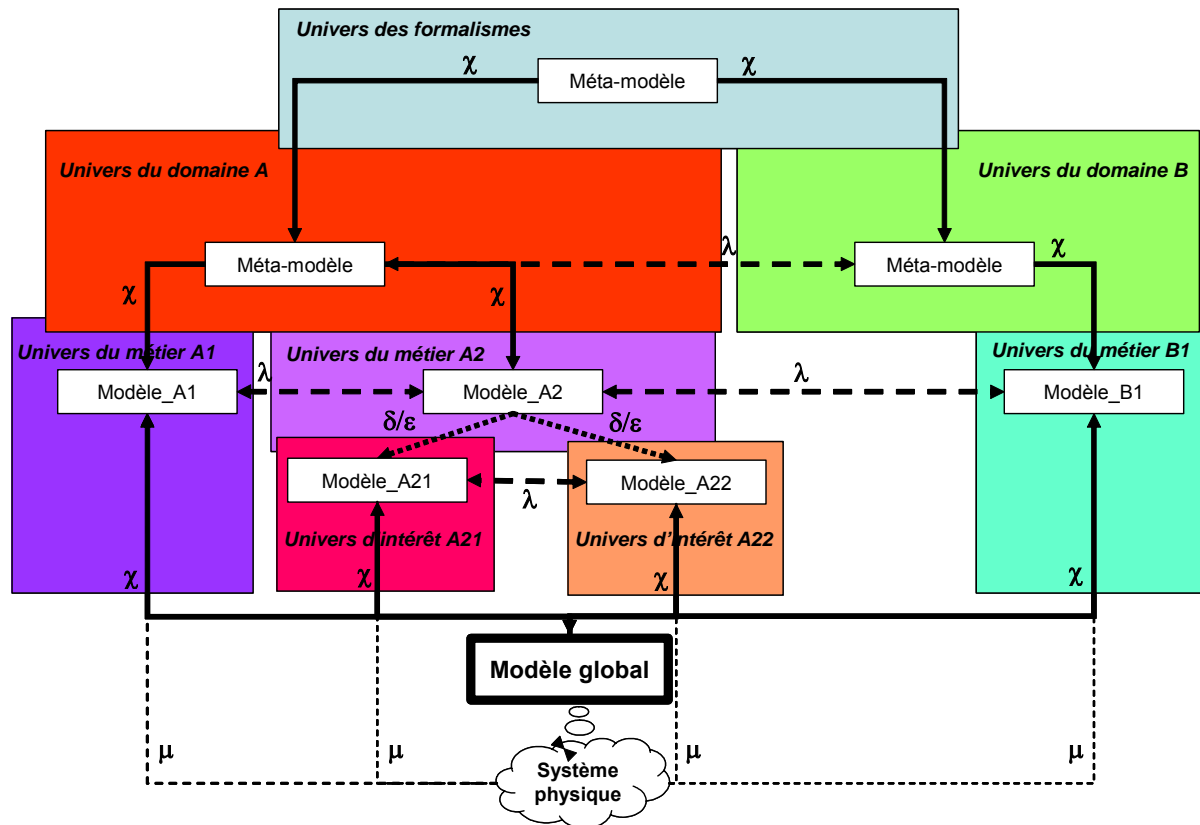


Figure 98 : Cadre conceptuel d'un méga-modèle ontologique des métiers

La représentation des différentes relations pouvant exister n'est pas exhaustive sur la Figure 98. L'objectif est ici de montrer la complexité des relations pouvant exister entre tous ces univers. Selon le type de la relation, les objets de connaissances à mettre en place pour la modélisation sont différents. Les propositions de perspectives faites autour des modèles de référence et des mécanismes qui pourraient leur être appliqués ont donc pour objectif de compléter ce cadre méthodologique de modélisation.

Tel que présenté, il n'est fait appel qu'à un seul univers des formalismes. Néanmoins, au sein de notre communauté, plusieurs formalismes de modélisation sont utilisés ne serait ce que pour la dichotomie entre la modélisation statique d'un produit et la modélisation dynamique de son processus de conception. L'intégration autour des formalismes a été largement abordée d'un point de vue Génie Logiciel, et plus proche de mes préoccupations dans les travaux de [Lesage, 1994], [Lhoste, 1994] [Bon-Bierel, 1995] ... contribuant à définir une chaîne intégrée de Génie Automatique basée sur une intégration de différents formalismes de modélisation. Cette approche montre, qu'au lieu d'enrichir l'univers des formalismes, elle le limite à l'intersection des concepts communs entre formalismes. Aussi, une prise en compte métier, en regard des besoins en terme de modélisation, comme dans le cas des points de vue traités par [Million, 1998], peut se prévaloir d'avoir pris la pleine mesure de la problématique et d'avoir apporté des solutions dans l'univers des formalismes en proposant de nouveaux concepts adaptés aux besoins de modélisation (l'acte de modéliser plutôt que les formalismes de modélisation utilisés).

### 3.3.4 Synthèse des perspectives : Vers une ontologie métier ...

Le processus de conception de produit est, de par nature, complexe et imprévisible puisqu'il s'appuie sur un ensemble d'acteurs humains, ayant des connaissances formalisées mais aussi implicites, ainsi que sur un ensemble d'outils logiciels hétérogènes souvent dédiés à une activité spécifique de ce processus.

Ma contribution, résumée précédemment, fait apparaître des objets de connaissances et des objets de natures différentes à échanger au sein de toutes les étapes jalonnant le cycle de vie du produit.

Aussi, les orientations futures de mes travaux visent à proposer un cadre conceptuel de modélisation de manière à permettre une meilleure capitalisation des savoir-faire métier en vue de contribuer à la mise en œuvre d'une ontologie métier support du cycle de conception et réalisation de produit manufacturier. Mon approche se veut centrée métier en regard de la sémantique qu'il manipule, donc différente de celle prônée par le Génie Logiciel qui s'attache à la transformation de concepts dans le souci de fédérer des modèles.

Pour conclure, mes perspectives de recherche portent essentiellement sur :

**La définition de règles permettant l'identification du type de relation** ainsi que sur le déploiement de celles-ci au sein d'un modèle de référence et ce en regard du point de vue que l'on a sur le système à modéliser.

**La définition de règles de conformité** permettant de garantir l'intégrité de la syntaxe et de la sémantique manipulées lors du passage d'un univers d'intérêt à un autre. Le changement d'univers pouvant se faire à des niveaux d'abstraction différents, comme dans le cas du Génie Logiciel, mais pouvant se faire également au même niveau, comme dans le cas de l'étude des métiers et de leur intégration.

**La mise en place de méga-patterns** en regard des travaux de [Favre, 2005] permettant la définition de l'enchaînement de relations successives dans un objectif de modélisation particulier. Il s'agit d'automatiser des séquences de modélisation de manière à définir une méthodologie de modélisation au sein du méga-modèle.

**L'automatisation de mécanismes** proposés comme celui de la substitution portant sur un modèle de référence de liaison. Il s'agit d'étudier s'il en existe d'autres, avec des sémantiques différentes, en regard des modèles de référence que je propose.

**La définition de connaissances métiers** spécifiques au Génie Mécanique à mettre en place lors de l'émergence de nouveaux objets de connaissances. Les propositions faites ici permettent de guider et de justifier ces connaissances en montrant notamment les objets qui sont impliqués. Pour mémoire rappelons que le problème de l'intégration CFAO a été longtemps mal posé puisqu'il ne considérait pas les bons objets à mettre en relation. Néanmoins, il s'agit de prendre en considération les méta-modèles existants et, de ce fait, d'en proposer une intégration sémantique. Cette démarche ascendante a été illustrée à la Figure 90\_b qui précise notamment l'enrichissement du méta-modèle métier en regard des problèmes de modélisation au niveau d'abstraction inférieur.

Ces perspectives permettront d'une part de proposer un cadre de modélisation sémantique et d'autre part de concourir à la définition d'une ontologie du métier de la conception et réalisation de produits manufacturiers.

Ainsi, la Figure 99 reprend la métaphore du systémographe de J.L. Le Moigne [Le Moigne, 1990] avec quelques modifications. En effet, elle définit un cadre méthodologique dont l'objectif est d'obtenir le modèle du système physique porteur de ses points de vue métiers. Chaque métier s'appuie sur un modèle de référence métier conforme au méga-modèle au sein duquel un certain nombre d'autres modèles métiers existent pouvant être comparés à un ensemble de *fiche à trous* et pour lesquels les relations définies précédemment existent. Aussi, il s'agit d'extraire les modèles de référence métier en regard du système à modéliser et de projeter, selon un certain éclairage, les objets le composant sur ces *fiches à trous*. Celles-ci résultent des perspectives énoncées précédemment.

La notion de conformité  $\chi$  est ici importante puisqu'elle se fait en regard d'un formalisme mais également en regard de l'univers du domaine considéré au sens de la sémantique qu'il manipule.

La mise en œuvre d'un tel cadre méthodologique doit s'appuyer sur des patrons (« U », « Z » ou « S » méga-pattern comme souligné dans [Favre, 2004]) où il est question de définir des enchaînements de relations ainsi que des combinaisons [Bézivin, 2004] de relations concourant à définir des relations complexes. Par exemple, une relation de type  $\chi$  peut être issue d'une combinaison des relations  $\varepsilon$  et  $\mu$ .

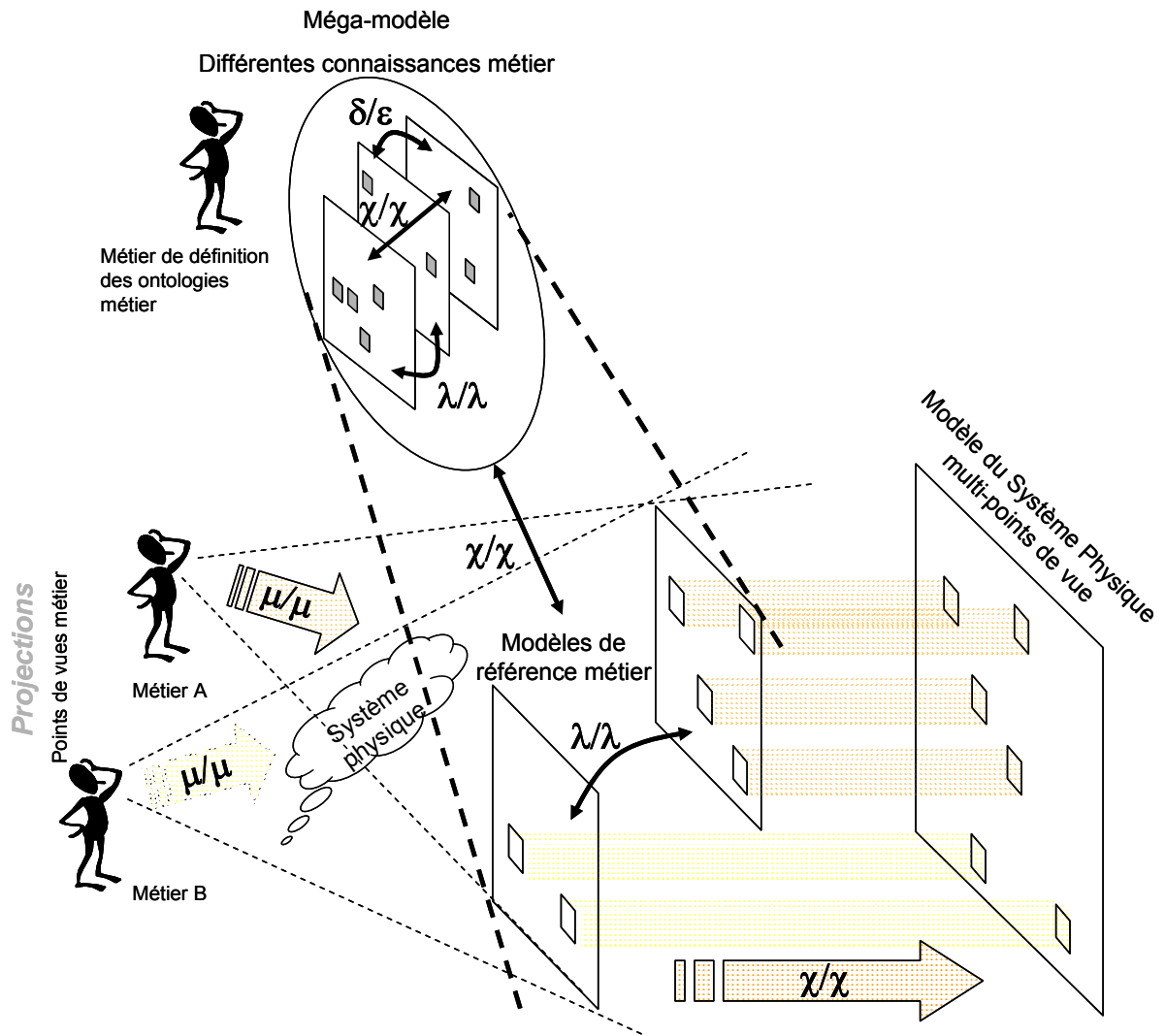


Figure 99 : Méthodologie autour d'un méga-modèle ontologique

---

Chapitre

**4**

## **4. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

---

**A.**

- [Abiteboul, 1989]** Abiteboul S, Fischer P.C., Schek H.J., *Nested Relations and Complex Objects in Databases*. Lectures Notes in Computer Science N 361. Springer-Verlag. 1989.
- [Adams, 1999]** Adams R.S., Atman C.J., *Characterizing Engineering Student Design Proces, an Illustration of Iteration*. Proceedings of ASEE annual conference. St louis (USA). 10-13 Novembre 2000.
- [Anwer, 2000]** Anwer N., *Méthodologie d'analyse de raisonnement pour la génération automatique des gammes d'usinage en fraisage. Contribution à la caractérisation des entités par analyse des contraintes d'usinabilité*. Thèse de Doctorat, Ecole Normale Supérieure de Cachan. 2000.

**B.**

- [Barnard, 1938]** Barnard, C. I., 1938, *The Function of the Executive*. Harvard University Press.
- [Batenburg, 2005]** Batenburg R., Helms R.W., Versendaal J., *The maturity of product lifecycle management in Dutch organizations : A strategic alignment*. Product Lifecycle Management : Emerging solutions and challenges for Global Networked Enterprise. Coordoné par Bouras A., Gurumoorthy B., Sudarsan R. Inderscience Enterprises. pp. 436-450. ISBN 0.907776.19.1.
- [Bellashene, 1998]** Bellashene Z., *Représentation multiple d'objet dans les systèmes de gestion de bases de données*. 16<sup>ème</sup> congrès national INformatique des ORganisations et Systèmes d'Information et de Décision (INFORSID'98), pp. 55-69. Montpellier, France. 1998.
- [Belloy, 1994]** Belloy P., *Intégration de connaissances métier dans la conception : un modèle pour les pièces mécaniques. Application à l'usinage et à l'estampage*. Thèse de Doctorat, Université Joseph Fournier. 1994.
- [Benali, 2002]** Benali K., Bourguin G., David B., Derycke A., Ferraris C., *Collaboration / Coopération*. Actes des secondes assises nationales du GdR I3, Nancy, Rédacteur J. Lemaître. Cépaduès-Éditions, p. 79-94. Décembre 2002.
- [Bestougeff, 1989]** Bestougeff H., Ligozat G., *Outils logiques pour le traitement du temps ... de la linguistique à l'intelligence artificielle*. Ed Masson. Etudes et recherches en Informatique ERI. Paris. 1989.
- [Bézivin, 2004]** Bézivin J., *In search of a basic principle for Model-Driven Engineering*. Novatica Journal, March-April 2004.
- [Bézivin, 2005]** Bézivin J., *Model Engineering : From Principles to Platform*. WIT-Kolloquium Technical University of Vienna. March 15, 2005.
- [Bigand, 2005]** Bigand M., *Intégration de modèles pour l'ingénierie des systèmes de conception*. Habilitation à Diriger de Recherches. Université des Sciences et Technologies de Lille. 2005.
- [Blaise, 2000]** Blaise J.C., *Apport d'une modélisation de l'information normative à l'intégration des règles de sécurité des machines en conception*. Thèse de Doctorat, Université Henri Poincaré, Nancy I. 2000.
- [Blanco, 1998]** Blanco E., *L'émergence du produit dans la conception intégrée*. Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble. 1998.
- [Boboc, 2002]** Boboc A., *Formes de socialisation dans la conception automobile – le cas Renault*. Thèse de Doctorat de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées. 2002.
- [Bon-Bierel, 1998]** Bon-Bierel E., *Contribution à l'Intégration des Modèles de Systèmes de Production Manufacturière par Méta-modélisation*. Thèse de Doctorat spécialité Production Automatisée, Université Henri Poincaré, Nancy I. 1998.
- [Booch, 1998]** Booch G., Rumbaugh J., Jacobson I., *The Unified Modeling Language User Guide*. The Addison Wesley Object Technologies Services, Addison Wesley. 1998.

- [Bouazza, 1995] Bouazza M., *La norme STEP*. Hermès, Paris. 1995.
- [Bouchon-Meunier, 1995] Bouchon-Meunier B., *La logique floue et ses applications*. Addison-Wesley France SA. 1995.
- [Boujut, 2001] Boujut J.F., *Des outils aux interfaces : Pour le développement de processus de conception coopératifs*. Habilitation à Diriger des Recherches, Université Joseph Fournier, Grenoble. 2001.
- [Bounab, 1994] Bounab M., *Intégration d'outils dans un environnement hétérogène : expérimentation dans un atelier de génie productique*. Thèse de Doctorat en Informatique. Université Henri Poincaré, Nancy I, 1994.
- [Bourguin, 2000] Bourguin G., *Un support informatique à l'activité coopérative fondé sur la Théorie de l'Activité : le projet DARE*. Thèse de Doctorat, Université des Sciences et Technologies de Lille. 2000.
- [Brissaud, 1992] Brissaud D., *Système de conception automatique de gammes d'usinage pour les industries manufacturières*. Thèse de Doctorat, Université Joseph Fournier, Grenoble. 1992.
- [Brissaud, 1997] Brissaud D., *Contribution à la Modélisation des Processus d'Usinage dans un contexte de Conception Intégrée des Produits*. Habilitation à Diriger des Recherches, Université Joseph Fournier, Grenoble. 1997.
- [Brissaud, 1998] Brissaud, D. et Garro, O., *Conception distribuée, émergence*. Dans *Conception de produits mécaniques, sous la direction de M. Tollenaere*, Hermès, p. 105-115, 1998.
- [Bucciarelli, 1994] Bucciarelli L.L., *Designing engineers*. MIT Press. 1994.
- [Bucciarelli, 1988] Bucciarelli L.L., *An ethnographic perspective on engineering design*. Design Studies, Vol. 9, N°3, juillet 1988.
- [Buckingham, 1997] Buckingham Shum S., *Representation Hard-to-Formalise, Contextualised, Multidisciplinary, Organisational Knowledge*. AAAI Spring Symposium Artificial Intelligence in Knowledge Management, Stanford University. March 24-26, 1997.
- C.**
- 
- [Campagne, 2002] Campagne J-P., Sénéchal O., *Les nouvelles exigences de coopération*, Chapitre 1 de l'ouvrage collectif « Coopération et connaissance dans les systèmes industriels. Une approche interdisciplinaires », coordonné par R. Soenen. Editions Hermès Lavoisier. 2002.
- [Capponi, 2004] Capponi V., Villeneuve F., Paris H., *Handling of alternative processes for machining of aeronautical parts in a CAPP system*. IFAC-MiM 2004, Athènes (Grèce), 21-22 October 2004.
- [Capponi, 2005] Capponi V., *Les interactions home-machine dans la generation assistée de gammes d'usinage : application aux pieces aéronautiques de structure*. Thèse de Doctorat, Université Joseph Fournier, Grenoble 1, 2005.
- [Castelfranchi, 1996] Castelfranchi C., *Conflict Ontology*. Proceedings of the Workshop on Conflict Management, European Conference on Artificial Intelligence (ECAI), 1996.
- [Chambolle, 1999] Chambolle F., *Un modèle produit piloté par les processus d'élaboration : application au secteur automobile dans l'environnement STEP*. Thèse de Doctorat, Ecole Centrale Paris, 1999
- [Chapa, 1997] Chapa E.C., *Outils et structure pour la coopération formelle et informelle dans un contexte de conception holonique*. Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble. 1997.
- [Chep, 1992] Chep A., *Modèle de représentation et utilisation des connaissances nécessaires à la conception d'un processus de fabrication : application à la génération*

*automatique de gammes d'usinage en tournage*. Thèse de Doctorat, Ecole Normale de Cachan. 1992.

- [Constant, 1996] Constant D., *Contribution à la spécification d'un modèle de produits pour la conception intégrée des systèmes mécaniques*. Thèse de Doctorat, Université Joseph Fournier. 1996.

## D.

- [Darke, 1995] Darke P., Shanks G., *Viewpoint development for requirements definition : towards a conceptual framework*. Proceedings of the 6<sup>th</sup> Australian Conference on Information Systems (ACIS'95), p. 227-228. Perth(Australie). 1995.
- [Darses, 1996] Darses F., Falzon P., *La conception collective : une approche de l'ergonomie cognitive*. In *Coopération et conception*, Coordinateurs : G. De Tersac et E. Friedberg. Octores Edts, Toulouse, 1996.
- [Darses, 1997] Darses F., *L'ingénierie concourante: un modèle en meilleure adéquation avec les processus cognitifs de conception*. Bossard P., Chanchevrièr C. and Leclair P. (Eds), *Ingénierie concourante : de la technique au social*, Economica. 1997.
- [Darses, 2001] Darses F., *Converger vers une solution en situation coopérative de conception : analyse cognitive du processus d'argumentation*. Editeurs F. Darses, *Modéliser les activités collectives de conception*, Actes du 10ème Atelier du Travail Humain, Paris (France). 27-28 juin 2001.
- [David, 1998] David B., *Apports de la technologie informatique à l'ingénierie concourante : cas du workflow et du groupware*. L'entreprise communicante sous la direction de Foulard C. Hermès. 1998.
- [David, 2001] David B., VAISMAN G., SAIKALI K., *Evolution du Travail Coopératif Assisté par Ordinateur: Vers la TCAO « capillaire »*. Actes du colloque CITE'2001, *Coopération, Innovation et Technologie*, Université Technologique de Troyes (France). 29 et 30 Novembre 2001.
- [David, 2003] David B., CHALON R., VAISMAN G., DELOTTE O., *Capillary CSCW*. Human-Computer Interaction Theory and Practice (Stephanidis C., Jacko J., ed.) Vol. 2, LEA, London, pp. 879-883. 2003.
- [Deneux, 2002] Deneux D., *Méthodes et modèles pour la conception concourante*. Habilitation à Diriger des Recherches, Université de Valenciennes et du Hainaut Cambrésis. 2002.
- [Derigent, 2004] Derigent W., Harik R., Lombard M., Ris G., *Intégration conception/génération automatique de gammes en conception intégrée à partir de connaissances métiers*. 2<sup>ème</sup> colloque du groupe de travail C2EI (Modélisation et pilotage de systèmes de Connaissances et de Compétences dans les Entreprises Industrielles), 1er et 2 Décembre 2004, Nancy (France).
- [Derigent, 2005] Derigent W., *Méthodologie de passage d'un modèle CAO vers un modèle FAO pour des pièces aéronautiques : Prototype logiciel dans le cadre du projet USIQUICK*. Thèse de Doctorat, Université Henri Poincaré, Nancy I. 2005.
- [Derras, 1995] Derras C., *Proposition d'une structure de Données supportant l'Entité "trou" dans un contexte d'Ingénierie Concourante en Phase de Conception Détaillée*. Rapport de recherche de DEA Production Automatisée. Université Henri Poincaré, Nancy I. 1995.
- [Derras, 1998] Derras C., *Formalisation de l'imprécision informationnelle et des incertitudes décisionnelles des connaissances expertes pour la génération de processus de fabrication*. Thèse de Doctorat spécialité Production Automatisée, Université Henri Poincaré, Nancy I. 1998.
- [Dieng, 2001] Dieng R., Corby O., Gandon F., Giboin A., Golebiowska J., Matta N., Ribière M., *Méthodes et outils pour la gestion des connaissances : Une approche pluridisciplinaire du Knowledge Management*, Dunod. 2001.

- [**Dourish, 1992**] Dourish P., Belloti V., *Awareness and Coordination in Shared Workspaces*. Proceedings of the ACM Conference on Computer-Supported Collaborative Work (CSCW 92), Toronto, Canada, ACM Press. 1992.
- [**Dubois, 1996**] [Dubois D., Prade H., *What are fuzzy rules and how to use them*. Fuzzy Sets and Systems, Vol. 84, pp.169-185. 1996.
- [**Dutta, 2005**] Dutta D., *Product Lifecycle Management*. International Conference on Computer Aided Design, CAD'05. Conférence invitée (actes sur CD). 20-24 Juin 2005, Bangkok (Thaïlande).

---

**E.**

- [**EIFFEL, 2002**] EIFFEL : *Projet Cognition et Coopération en conception*. INRIA-Rocquencourt, rapport d'activité 2002. <http://www.inria.fr>
- [**Ericksson, 1997**] Ericksson D., *A Principal Exposition of Jean-Louis Le Moigne's Systemic Theory*. Revue *Cybernetics and Human Knowing*. Vol. 4 N°2-3. 1997.
- [**Eynard, 1999**] Eynard B., *Modélisation du produit et des activités de conception : contribution à la conduite et à la traçabilité du processus d'ingénierie*. Thèse de Doctorat, Université de Bordeaux I, 1999.
- [**Eynard, 2005**] Eynard B., *Gestion du cycle de vie des produits et dynamique des connaissances industrielles en conception intégrée*. Habilitation à Diriger des Recherches, Université de Technologie de Compiègne. 2005.

---

**F.**

- [**Falzon, 1994**] Falzon P., *Dialogues fonctionnels et activité collective*. Le Travail humain, 57(4), p 299-312, 1994.
- [**Favre, 2004**] Favre J.M., *Towards a Basic Theory to Model Driven Engineering*. Workshop on Software Model Engineering, WISME@UML 2004. Lisboa (Portugal). October 11, 2004.
- [**Fouloy, 1995**] Fouloy L., Galichet S., *Typology of fuzzy controllers*. 2<sup>ème</sup> journées nationales sur les Applications des Ensembles Flous, pp. 129-136. Nîmes (France). 2-3 novembre 1992.

---

**G.**

- [**GAMA, 1990**] Groupe GAMA, *La gamme automatique en usinage*. Editions Hermès. 1990.
- [**GAMA, 1998**] Groupe GAMA, *Modélisation par entités*. Conception de produits mécaniques : méthodes, modèles et outils sous la direction de M. Tollenaere, pp.323-346. Editions Hermès. Paris (France). 1998.
- [**Garon, 1999**] Garon M., *Une expérience de conception coopérative et simultanée via l'outil informatique : le jeu des Cmaoistes*. Mémoire d'ingénieur CNAM, Université Henri Poincaré, Nancy I. 1999.
- [**Garro, 1992**] Garro O., *Conception d'éléments physiques de systèmes de production. Application aux machines outils à architecture parallèle*. Thèse de Doctorat spécialité Production Automatisée, Université Henri Poincaré, Nancy I. 1992.
- [**Garro, 1997**] Garro O., *Contribution à la modélisation de la conception des systèmes mécaniques*. Habilitation à Diriger des Recherches. Université Joseph Fournier, Grenoble. 1997.
- [**Girard, 1999**] Girard Ph., *Etude de la conduite de la conception des produits manufacturés : contribution à l'ingénierie des systèmes de conception*. Thèse de Doctorat, Université de Bordeaux I, 1999.
- [**Girard, 2004**] Girard Ph., *Contribution à la conduite des systèmes de conception*. Habilitation à Diriger des Recherches. Université de Bordeaux I. 2004.



- [Grabowski, 1995]** Grabowski H., Lossack R. Weis C., *Supporting the design process by an integrated knowledge based design system, Advances in formal design methods for CAD*. IFIP International Conferences, Mexico (Mexique). 1995.
- [GRACC, 2001]** Groupement de Recherche sur l'Activité de Conception Coopérative, *Une expérience de conception collaborative à distance*. 7<sup>ème</sup> colloque national sur la conception mécanique intégrée PRIMECA'01. La Plagne (France). 2-4 Avril 2001.
- [Graham, 1997]** Graham I, *Migrer vers la technologie objets*. Thomson Publishing, France. 1997.
- [Gzara, 2000]** Gzara L., *Les patterns pour l'ingénierie des systèmes d'information produit*. Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble, 2000.

---

## H.

- [Habrias, 1988]** Habrias H., *Le modèle relationnel binaire. Méthode I.A. (NIAM)*. Editions Eyrolles. 1988.
- [Halpin]** Halpin T., Site officiel sur ORM, <http://www.orm.net/>
- [Harani, 1997]** Harani Y., *Une approche Multi-modèles pour la capitalisation des Connaissances dans le Domaine de la Conception*. Thèse de Doctorat de l'Institut National Polytechnique de Grenoble. 1997.
- [Harik, 2004]** Harik R., *Entités d'usinage pour la CFAO : Identification et spécifications des faces réglées quasi-développables pour l'usinage en flanc*. Mémoire de DEA soutenu en Juillet 2004
- [Harik, 2007]** Harik R., *Spécifications des fonctions pour un système d'aide à la génération automatique de gamme d'usinage : Applications aux pièces aéronautiques de structure*. Thèse de Doctorat, Université Henri Poincaré, Nancy I. Soutenance prévue en 2007.
- [Hasan, 2002]** Hasan R., *Contribution à l'amélioration des performances des systèmes complexes par la prise en compte des aspects socio-techniques dès la conception : proposition d'un modèle original de Situation De Travail pour une nouvelle approche de conception*. Thèse de Doctorat, Université Henri Poincaré, Nancy I. 2002.

---

## I.

- [ISO 286-1]** ISO systems of limits and fits - Part 1 : Bases of tolerances, deviation and fits. 1988
- [ISO 10303-11]** Industrial Automation Systems and Integration – Product Data Representation and Exchange – Part 11: *The EXPRESS language reference manual*. ISO. 1994.
- [ISO 10303-42]** Industrial Automation Systems and Integration – Product Data Representation and Exchange – Part 42 : Integrated Generic Resources: Geometric and Topological Representation. ISO, NIST, 1994.
- [ISO 10303-238]** Industrial Automation Systems and Integration – Product Data Representation and Exchange – Part 238 : *Application Protocol : Application interpreted model for computerized numeric controllers*. ISO, en développement.

---

## J.

- [Jacquet, 1998]** Jacquet L., *Contribution à l'élaboration d'une démarche de Spécification Fonctionnelle*. Thèse de Doctorat de l'Université de Valenciennes et du Hainaut Cambrésis. 1998.
- [Jagou, 1993]** Jagou P., *Concurrent engineering*. Hermès, Paris, ISBN 2.86601.369-7. 1993
- [Jeantet, 1998]** Jeantet A., *Les objets intermédiaires dans la conception – Eléments pour une sociologie des processus de conception*. Sociologie du travail 3 (1998) 291-316.

---

## K.

- [Kanawati, 1997]** Kanawati R., *Construction de collecticiels : étude d'architectures logicielles et de fonctions de contrôle*. Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble. 1997.
- [Klein, 2000a]** Klein M., *Towards a systematic repository of knowledge about managing collaborative design conflicts*. Proceedings of the Sixth International Conference on Artificial Intelligence in Design, Worcester MA, 26-29 June 2000.
- [Klein, 2000b]** Klein M., Dellarocas C., Bernstein A., *Introduction to the Special Issue on Adaptive Workflow Systems*. CSCW Journal Vol. 9 Issue 3-4, Kluwer Academic Publishers, pp. 265-267. 2000.
- [Krause, 1993]** Krause F.L., Kimura F., Kjellberg T., Lu S.C.Y., *Product modelling*. Annals of the CIRP, Vol.42/2, pp 695-706, 1993.

---

**L.**

- [Le Gallou, 1992]** Le Gallou F., Bouchon-Meunier B., *Systémique – Théorie & Application*. Technique & Documentation – Lavoissier – Paris, 1992.
- [Le Moigne, 1977]** Le Moigne J.L., *La théorie du système général*. P.U.F., 1977.
- [Le Moigne, 1990]** Le Moigne J.L., *La modélisation des systèmes complexes*. Dunod, Paris, 1990.
- [Léon, 1985]** Léon J.C., *Modélisation et construction de surfaces pour la CFAO*. Editions Hermès, Paris (France), 1985.
- [Lesage, 1994]** Lesage J.J., *Contribution à la formalisation des modèles et méthodes de conception des systèmes de production*. Habilitation à Diriger des Recherches, Université Henri Poincaré, Nancy I. 1994
- [Lhoste, 1994]** Lhoste P., *Contribution au Génie Automatique : Concepts, Modèles, Méthodes et Outils*. Habilitation à Diriger des Recherches. Université Henri Poincaré, Nancy I. 1994.
- [Lombard, 1993]** Grégori-Lombard M., rapporteur de : *La méthode HOOD*. Journées de Synthèse Méthodes d'Analyse et de Conception Orientées Objet des Systèmes d'Information. AFCET. Paris (France). 22-23/11/1993.
- [Lombard, 1994]** Lombard M., *Contribution au génie productique : prototypage d'une architecture d'ingénierie concourante des systèmes intégrés de fabrication manufacturière*. Thèse de doctorat de l'Université Henri Poincaré, Nancy I. Spécialité Production Automatisée. 1994.
- [Lombard, 1996a]** Lombard M., Sommer J.L., Gete E., Mayer F., *System-based Methodology for Concurrent Engineering*. Robotics and Manufacturing, recent trends in Research an applications, Vol. 6, pp. 411 - 416, ISBN 0-7918-0047-4, ISSN 1052-4150. Editors M. Jamshidi, F. Pin, P. Dauchez. ASME Press Series. 1996.
- [Lombard, 1996b]** Lombard M., *Integrated design for a Computer Information Management (CIM) project : distributed hypermedia information support systems*. Robotics and Manufacturing, recent trends in Research an applications, Vol. 6, pp. 393 - 398, ISBN 0-7918-0047-4, ISSN 1052-4150. Editors M. Jamshidi, F. Pin, P. Dauchez. ASME Press Series. 1996
- [Lombard, 2000]** Lombard M., *De l'intégration de modèles vers l'ajustement d'un modèle unique de données en ingénierie intégrée : Proposition de la méthode V.I.M. (Viewpoints Information Modelling)*. 3<sup>ème</sup> Conférence Internationale sur la Conception et la Fabrication Intégrées en Mécanique, proceedings of IDMME'2000 Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering. Montréal (Canada). 2000.

---

**M.**

- [Marchand, 1996]** Marchand F., Rivière A., *Un modèle d'information intégré pour les gammes d'usage*. IDMME'96 Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering, pp857-866. Nantes (France). 1996.

- [Marino, 1993]** Marino O., *Raisonnement classificatoire dans une représentation à objets multipoints de vue*. Thèse de Doctorat en Informatique, Université Joseph Fourier, Grenoble I. 1993.
- [Matta, 1996]** Matta N., Corby O., *Modèles génériques de gestion de conflits dans la conception de conflits dans la conception concourante*. Rapport INRIA N°3071. Décembre 1996.
- [Maurino, 1995]** Maurino M., *La gestion des données techniques*, Masson. ISBN 2.225.84518-2.1995.
- [Mawussi, 1995]** Mawussi K., Bernard A., *Représentation et aide à la définition d'outillages de forme complexe basées sur un modèle d'entités complexes*. Revue Internationale de CFAO et Infographie, vol. 10, n°5, p. 465-484, 1995.
- [Mayer, 1995]** Mayer F., *Contribution au Génie Productique : application à l'Ingénierie Pédagogique en Atelier Inter-établissements de Productique Lorrain*. Thèse de Doctorat option Production Automatisée. Université Henri Poincaré, Nancy I. 1995.
- [MICAD, 1993]** Spécial MICAD – CAO/CFAO. L'Usine Nouvelle – Technologies. Janvier 1993
- [Million, 1998]** MILLION O., *De l'intégration des métiers par les données techniques vers la maîtrise de la modélisation conceptuelle : la méthode V.I.M. (Viewpoints Information Modelling)*. Thèse de doctorat en production automatisée de l'Université Henri Poincaré, Nancy I. 1998.
- [Mer, 1998]** Mer S., *Les mondes et les outils de la conception pour une approche socio-techniques de la conception de produit*. Thèse de Doctorat, Université Joseph Fournier. 1998.
- [Mélèse, 1972]** Mélèse J., *L'analyse modulaire des systèmes de gestion*. Hommes et Techniques, Paris, 1972.
- [McMahon, 1995]** McMahon C., Xianyng M., Brown K. Sims Williams J., *A parallel multi-attribute transformation model of design*. Design Engineering Technical Conferences, ASME'95, Boston, USA, 1995.
- [Midler, 1993]** Midler C., *L'auto qui n'existait pas. Management des projets et transformation de l'entreprise*. Editions DUNOD, 1993.
- [Mony, 1992]** Mony C., *Un modèle d'intégration des fonctions Conception/Production dans l'ingénierie de produit. Définition d'un système mécanique en base de donnée objet*. Thèse de Doctorat, Ecole Centrale de Paris. 1992.
- [Morand, 1994]** Morand B., *Processus de conception des systèmes d'information avec un modèle d'acteurs. Essai sur le Système de Représentation*. Thèse de Doctorat, Université de Caen. 1994.
- [Morel, 1992]** Morel G., *Contribution à l'Automatisation et à l'Ingénierie des Systèmes Intégrés de Production*. Habilitation à Diriger des Recherches, Université Henri Poincaré, Nancy I. 1992.
- [Muller, 1997]** Muller P.A., *Modélisation objet avec UML*. Eyrolles. Paris (France). 1997.

---

**N.**

- [Nassar, 2004]** Nassar M., *VUML : une extension UML orientée point de vue*. Thèse de Doctorat, Université Mohamed V-Soussi Rabat (Tunisie). 2004.
- [Nijssen, 1989]** Nijssen G.M., Halpin T., *Conceptual Schema and Relational Database Design*. Prentice Hall, Sydney (Australie). 1989.
- [Noël, 2003]** Noël F., *Outils dédié à la Conception de Produits Mécaniques dans un contexte de Liaison Conception-Simulation*. Habilitation à Diriger des Recherches. Université Joseph Fournier, Grenoble. 2003.
- [Nowak, 2004]** Nowak P., Rose B., Saint-Marc L., Eynard B., Gzara-Yesilbas L., Lombard M., *Towards a design process model enabling the integration of product, process and*

organisation. 5th International Conference on Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering, IDMME 2004, Bath (Royaume-Uni). April 5-7 2004.

## O.

- [Ouertani, 2005]** Ouertani M.-Z., Rose B., Gzara-Yesilbas L., Lombard M., Lossent L., *Vers une structuration de la collaboration au sein du processus de conception*. AIP-PRIMECA « Méthodes et modèles innovants pour la conception de systèmes industriels », La Plagne (France), 7-9 Avril 2005.
- [Ouertani, 2006]** Ouertani M.-Z., *Gestion des dépendances de données support à la gestion de conflits en conception collaborative*. Thèse de Doctorat, Université Henri Poincaré, Nancy I. soutenance prévue pour fin 2006.

## P.

- [Paris, 1995]** Paris H., *Contribution à la conception automatique des gammes d'usinage : le problème du posage et du bridage de pièces*. Thèse de Doctorat, Université Joseph Fournier. 1995.
- [Perrin, 2001]** Perrin, *Conception entre science et art. Regards multiples sur la conception*. Coll. Epistémologie. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes. ISBN : 2-88074-480-6.
- [Picavet, 1997]** Picavet M., *La complexité dans la modélisation du système d'information de l'entreprise. Propositions de solutions : concepts, outils et démarches*. Habilitation à Diriger des Recherches. Université de Lille, 1997.
- [Pierra, 1993]** Pierra G., *Multi-représentation des objets réels dans l'approche objet : l'exemple du domaine de la conception technique*. Journées de synthèse : Méthodes d'analyse et de conception orientées objet des systèmes d'information. AFCET, pp.415-428. Paris, 1993.
- [Pierra, 1994]** Pierra G., *Modelling classes of pre-existing components in a CIM perspective : the ISO 13584/ENV 400014 approach*. Revue Internationale de CFAO et d'Infographie. 9 (3), pp.435-454. 1994.
- [Pierra, 2000]** Pierra G., *Représentation et échange de données techniques*. Editions scientifiques et médicales Elsevier SAS. pp.397-414. 2000.
- [Pinelle, 2002]** Pinelle D., Gutwin C., *Groupware walkthrough : adding context to groupware usability evaluation*. Proceedings of the SIGCHI: ACM Special Interest Group on Computer-Human Interaction, ACM Press, New York, pp. 455-462. 2002.
- [Prasad, 1996]** Prasad B., *Concurrent Engineering Fundamentals: Integrated Product and Process Organisation*. Prentice-Hall. Vol.I. Upper Saddle River, NJ, 1996.
- [Poveda, 2001]** Poveda O., *Pilotage technique des projets d'ingénierie simultanée, modélisation des processus, analyse et instrumentation*. Thèse INPG, décembre 2001.

## R.

- [Richard, 1997]** Richard Ph., *Contribution à l'automatisation de la préparation de la fabrication pour les systèmes de production manufacturiers : Prototypage d'un outil d'assistance à la conception de montage d'usinage*. Mémoire d'ingénieur CNAM, Université Henri Poincaré, Nancy I. 1997.
- [Rieu, 1999]** Rieu D., *Ingénierie des Systèmes d'Information*. Habilitation à Diriger des Recherches, Institut National Polytechnique de Grenoble. 1999.
- [Ris, 2000]** Ris G., Garon M., Lombard M., Charpentier P., Bernard A., *Travail collaboratif, observation des acteurs sur un cas d'école*. IDMME'2000 Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering. May 2000, Montréal (Canada). Résumé P. 128, Communication sur CD-Rom

- [Ris, 2003]** Ris G., *Modélisation de pièces et CAO*. Fabrication assistée par ordinateur. Hermès-Lavoisier, traité IC2. Paris (France). Sous la direction d'Alain Bernard. 2003.
- [RNTL, 2006]** Appel à projets 2006, Réseau National de Recherche et d'Innovation en Technologies Logicielles. ANR/AAP 2006 (<http://www.rntl.org/>)
- [Robin, 2005a]** Robin V., Rose B., Girard Ph., Lombard M., *Modelling collaborative knowledge to support engineering design project manager*. 17<sup>th</sup> IMACS World Congress, Scientific Computation, Applied Mathematics and Simulation. Paris (France). 11-15 Juillet 2005
- [Robin, 2005b]** Robin V., *Evaluation de la performance des systèmes de conception pour la conduite de l'ingénierie des produits : prototype logiciel d'aide aux acteurs*. Thèse de Doctorat, Université Bordeaux I. 2005.
- [Roche, 2003]** Roche C., *Ontology a survey*. 8<sup>th</sup> Symposium on Automated Systems Based on Human Skill and Knowledge. Göteborg (Suède). 2003.
- [Rose, 2002]** Rose B., Gzara L., Lombard M., Lossent L., Ris G., *Vers un référentiel commun pour les connaissances collaboratives dans l'activité de conception de produits*. GCC-GI 2002, 1er Colloque du groupe de travail Gestion des Compétences et des Connaissances en Génie Industriel, "Vers l'articulation entre Compétences et Connaissances", Nantes, 12-13 Décembre 2002.
- [Rose, 2004]** Rose B., *Proposition d'un référentiel support à la conception collaborative CO<sup>2</sup>MED (Collaborative CONflict Management in Engineering Design), Prototype logiciel dans le cadre du projet IPPOP*. Thèse de Doctorat, Université Henri Poincaré, Nancy I, 2004.

## S.

---

- [Sabourin, 1995]** Sabourin L., *L'expertise en conception de gammes d'usinage : approche par Entités et propagation de contraintes*. Thèse de Doctorat, Ecole Normale de Cachan. 1995.
- [Salau, 1995]** Salau I., *La Conception Distribuée : Théorie et Méthodologie*. Thèse de Doctorat, Université Henri Poincaré, Nancy I. 1995.
- [Schek, 1991]** Schek H.J., Sholl M.H., *Evolution of Data Models*. Lecture Notes in Computer Science N 466, rédacteur Blaser A., pp. 135-153. Database systems for 90's. Springer-Verlag. 1991.
- [SESSI, 1998]** SESSI, Publication périodique, *Les 4 pages*. N°91 : *Les français et l'innovation technologique*. Mai 98. Internet : [industrie.gouv.fr](http://industrie.gouv.fr). 1998.
- [Shah, 1995]** Shah J.J., Mäntylä M., *Parametric and feature-based CAD/CAM Concepts-Techniques-Applications*. Wiley-Interscience Publication, ISBN 0-471-00214-3. 1995.
- [Shea, 1987]** Shea G.P., Guzzo R.A., Group effectiveness: what really matters, *Sloan Management Rev.* 28-3 pp 25-31. 1987.
- [Simon, 1991]** Simon H.A., 1991, *Sciences des systèmes, sciences de l'artificiel*, version traduite en français par J.L. Lemoigne, 1991, Dunod.
- [Sohlenius, 1992]** Sohlenius G., *Concurrent engineering*. Annals of the CIRP General Assembly, Vol. 41/2, Key-note paper. Pp.645-655. 1992.
- [Stanger, 1997]** Stanger N., Pascoe R., *Environments for viewpoint representations*. Proceedings of the 5<sup>th</sup> European Conference Information Systems (ECIS'97), Cork (Irlande), 18-21 Juin 1997.

## T.

---

- [Tabourier, 1986]** Tabourier Y., *De l'autre côté de MERISE. Systèmes d'information et modèles d'Entreprise*. Editions d'Organisation. Paris (France). 1986.

- [Tabourier, 1990] Tabourier Y., *Le formalisme de données de Merise : Extensions du pouvoir d'expression*. Journée d'étude organisée par le Groupe 135 « conception des système d'information », collège AFCET-GID. Paris (France). 15 novembre 1990.
- [Takeda, 1990] Takeda H., Veerkamp P., Tomiyama T. Yoshikawa H., *Modeling Design Processes*. AI Magazine 11 (4) (1990) 37-48. 1990.
- [Tapin-Bernard, 1998] Tapin-Bernard F., David B., Primet P., *Framework and patterns for synchronous groupware: AMF-C approach*. Proceedings of IFIP Working Conference on Engineering for HCI, EHCI'98, Grèce. Septembre 1998.
- [Tarski, 1954] Tarski A., *Contributions to the Theory of Models*. In *Indagationes Mathematicae* 13, pp. 572-581. 1954.
- [Tehari, 1999] Tehari A., *Analyse Morphologique de modèles pour décrire un produit par des caractéristiques en fonction du point de vue*, Thèse de l'Université Claude Bernard, Lyon. 1999.
- [Terrasse, 2005] Terrasse M.N., Savonnet M., Leclercq E., Grison Th., Becker G., *Points de vue croisés sur les notions de modèles et métamodèles*. Premières journées sur l'Ingénierie Dirigée par les Modèles IDM'05. Paris (France), 30 Juin-1<sup>er</sup> Juillet 2005.
- [Tollenaere, 1995] Tollenaere M., *Contribution à la modélisation de connaissances pour la conception mécanique*. Habilitation à Diriger des Recherches. Université Joseph Fourier, Grenoble 1, 1995.
- [Trousse, 1997] Trousse B., *Objets et CAO*. Chapitre 9 de l'ouvrage collectif *Ingénierie Objet*, C. Oussalah, InterEditions, 1997.
- [Tsang, 1987] Tsang J.P., *Planification par combinaison de plan. Application à la génération automatique de gammes d'usinage*. Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble. 1987.
- [Tsang, 1990] Tsang J.P., *Conception automatique de gammes d'usinage : point de vue intelligence artificielle*. Dans [GAMA, 1990], pp.160-183. 1990.

## U.

---

- [Ughetto, 1997] Ughetto L., *Utilisation conjointes de différents type de règles floues*. Rencontres Francophones sur la Logique Floue et ses Applications, LFA'97, pp.269-276. Lyon (France), 3-4 Décembre 1997.
- [Ulrich, 2000] Ulrich K., Eppinger S., *Product Design and Development*. 2<sup>nd</sup> ed., Irwin McGraw-Hill, Boston (USA). 2000.

## V.

---

- [Vernadat, 1999] Vernadat F.B., *Techniques de Modélisation en Entreprise : Application aux Processus Opérationnels*. Collection Gestion Economica, Paris, ISBN 2.7178.3853.8. Paris (France). 1999.
- [Villeneuve, 1990] Villeneuve F., *Génération ascendante d'un processus. Proposition d'une formalisation de l'expertise. Application aux entités d'alésage*. Thèse de Doctorat. Ecole Centrale de Paris. 1990.
- [Visser, 2001] Visser W., *Conception individuelle et collective. Approche de l'ergonomie cognitive*. Rapport de recherche RR-4257, INRIA Rocquencourt, Equipe Eiffel, <http://www.inria.fr/rrrt/rr-4257.html>, 2001.

## W.

---

- [Wiener, 1948] Wiener N., *Cybernetics*. Edition Hermann. 1948.
- [Winner, 1988] Winner R.I., Pennell J.P., Bertrand H.E., Slusarezuk M.M.G., *The risk of concurrent engineering in weapons system acquisition*. IDA report R6338, Institute for Defense Analysis, Alexandria VA, 1988.

**X.**

---

- [Xue, 2004]** Xue D., Yang H., A concurrent engineering-oriented design database representation model, *Computer-Aided Design*, vol.36, pp.947-965, 2004.

**Y.**

---

- [Yager, 1994]** Yager R.R., Filev D.P., *Essentials of Fuzzy Modelling and Control*. Wiley-Interscience (1994).

**Z.**

---

- [Zaclad, 2000]** Zaclad M., *La théorie des transactions intellectuelles : une approche gestionnaire et cognitive pour le traitement du COS*. *Intellectica*, Vol 30, n°1, pp.195-222. 2000.

- [Zarifian, 1996]** Zarifian, P., *Travail et communication*. Essai sociologique sur le travail dans la grande entreprise industrielle, PUF, Paris. 1996.

- [Zina, 2007]** Zina S., *Formalisation et implémentation adaptative des applications PLM*. Thèse de Doctorat, Université Henri Poincaré, Nancy I. soutenance prévue pour 2007.