

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
Université Mentouri de Constantine



Faculté des Sciences de l'Ingénieur
Département d'Informatique

Thèse de Doctorat d'état en Informatique

Thème :

**De la modélisation produit dans les technologies XAO au PLM:
une contribution à l'intégration des applications d'ingénierie dans
un cadre de gestion du cycle de vie produit**

Présentée par :

Mme Abbassen née Mostefai Sihem

Dirigée par :

Prof. M. Batouche

Soutenue le 21 Novembre 2007 devant le jury composé de :

Prof. M. Benmohamed	Professeur, Université de Constantine	Président
Prof. A. Bouras	Professeur, Université Lyon 2, France	Invité
Dr. S.Chikhi	Maître de Conférence, Université de Constantine	Rapporteur
Prof. M. Ahmed Nacer	Professeur, Université d'Alger USTHB	Examineur
Dr T. Khadir	Maître de Conférences, Université de Annaba	Examineur
Dr M.K. Kholladi	Maître de Conférences, Université de Constantine	Examineur

Remerciements

Je tiens à remercier en premier lieu mon directeur de thèse le Professeur Mohamed BATOUCHE pour son aide précieuse, ses conseils éclairés, ses orientations et ses encouragements ainsi que pour la confiance qu'il m'a témoignée jusqu'à l'aboutissement de ce travail.

Je mets un point d'honneur à remercier particulièrement le Professeur Abdelaziz BOURAS, responsable de l'équipe Lyon II du laboratoire LIESP (Laboratoire Informatique pour l'Entreprise et les Systèmes de Production) et directeur du CERRAL pour m'avoir accueillie au sein de son laboratoire, pour son soutien amical indéfectible, pour la confiance qu'il m'a témoignée, et pour les moyens qu'il a mis à ma disposition pour me permettre de progresser tout au long de cette recherche et de participer à des manifestations scientifiques dont les thématiques ont beaucoup enrichi les résultats de ma thèse. Je n'oublie pas de remercier également tous les membres de l'équipe du CERRAL pour leur accueil fraternel et leur aide.

Je remercie Mr Mohamed BENMOHAMED, Professeur au département Informatique et membre du labo LIRE pour m'avoir fait l'honneur de présider le jury.

J'adresse mes sincères remerciements à Mr Mohamed AHMED NACER, Professeur au département Informatique de l'USTHB d'Alger pour avoir accepté de faire partie du jury.

Je remercie vivement le Dr Mohamed Tarek KHADIR, maître de conférence au département Informatique de l'université d'Annaba pour avoir accepté de faire partie du jury.

Mes remerciements s'adressent également au Dr Mohamed Kheireddine KHOLLADI, chef du département Informatique pour avoir accepté de faire partie du jury malgré son agenda très chargé.

J'adresse mes plus vifs remerciements au Dr. Salim CHIKHI, maître de conférences au département Informatique et rapporteur de ce mémoire, pour le temps qu'il a investi dans cet exercice ainsi que pour ses encouragements à des moments critiques.

Mes remerciements et toute ma reconnaissance s'adressent également aux personnels des entreprises pour leur aide et leur disponibilité, en particulier messieurs M.BELALOUI et Rostom de L'ALEMO Oued Hamimime et E.BENMALEK de l'ENMTP de Ain Smara.

J'adresse mes plus vifs remerciements et toute ma reconnaissance à mes proches : mon mari, mes enfants et ma mère qui n'ont pas cessé de m'encourager et qui ont supporté mon "absence" durant plusieurs mois.

Je remercie mes amis : M.Souham, C.Samia, G.Afifa, G.Kheddoudja, D.Razika, E.Raida, M.Rekia, B.Mourad, B.Redha et beaucoup d'autres pour leur réconfort, leur grande sympathie à mon égard et leurs encouragements qui sont venus à des moments difficiles et qui m'ont beaucoup aidée à franchir le cap.

Je n'oublie pas d'avoir une pensée envers tous mes collègues de travail, en particulier celles et ceux en phase de préparation de thèse, je leur dis, ne vous découragez pas, tenez bon, l'aboutissement est certain Inchallah !

Table des matières

Table des matières	2
Liste des figures	6
Liste des tableaux	7
Introduction Générale	8
1. Motivation	9
2. Contribution de la thèse	10
3. Organisation de la thèse	10
Première partie : Etat de l'art	12
Chapitre 1 : Modélisation produit et technologies XAO	13
1.1. Introduction	13
1.2. De la CAO aux technologies XAO	14
1.2.1. La conception en ingénierie	14
1.2.2. La conception assistée	15
1.2.3. La Conception Assistée par Ordinateur (CAO)	16
1.2.4. Avantages de La CAO	16
1.2.5. Les technologies XAO	17
1.2.5.2. Evolution des outils XAO	18
1.2.5.3. La maquette numérique	18
1.3. L'infographie au service de la CAO	19
1.3.1 L'infographie	19
1.3.2. La modélisation solide	20
1.3.2.1. Rôle de la modélisation solide	20
1.3.2.2. Principes de la modélisation solide classique	21
1.3.2.3. Critiques sur la modélisation solide classique	21
1.3.2.4. Evolutions de la modélisation solide	22
1.4. La modélisation produit	22
1.4.1. Concepts de la modélisation produit	22
1.4.2. Vers une modélisation paramétrique de haut niveau	23
1.4.3. Reconnaissance et conception à base de caractéristiques	23
1.4.3.1. Reconnaissance des formes caractéristiques	24
1.4.3.2. Conception par les caractéristiques	27
1.4.3.3. Conception et Reconnaissance: une approche hybride	28
1.4.3.4. Conversion de modèles de caractéristiques	29
1.4.4. Rôle des caractéristiques dans la modélisation produit	29
1.5. Conclusion	30
Chapitre 2 : De la modélisation produit au PLM	31
2.1. Introduction	31
2.2. Le modèle de produit	31
2.2.1. Les données techniques	32
2.2.2. La Gestion des Données Techniques	33
2.2.3. Les systèmes de gestion de données techniques	33

2.2.4. Pourquoi une gestion sur le cycle de vie ? _____	33
2.3. Problèmes liés à la modélisation cycle de vie du produit _____	34
2.3.1. Problèmes d'intégration de données hétérogènes _____	34
2.3.2. Problème de l'échanges des données _____	34
2.4. Quelles solutions au problème d'intégration _____	35
2.4.1. Les features comme mécanisme d'intégration _____	35
2.4.2. D'autres solution possibles _____	36
2.5. Conclusion _____	36
Chapitre 3 : Le PLM et le cycle de vie produit _____	37
3.1. Introduction _____	37
3.2. Le cycle de vie produit _____	37
3.2.1. Généralités _____	37
3.2.2. Les phases du cycle de vie _____	37
3.2.2.1. Les phases du cycle de vie en pré-production _____	38
3.2.2.2. Les phases du cycle de vie en post-production _____	38
3.2.3. Intérêt de l'analyse du cycle de vie _____	40
3.2.4. Modèle de référence du cycle de vie produit _____	42
3.3. Impacts technologiques sur les processus clés du cycle de vie produit _____	43
3.3.1. Impacts des TICs sur le processus de conception _____	44
3.3.2. Impacts des TICs sur le processus de mise en service /distribution _____	45
3.3.3. Impact des TICs sur le processus d'entretien/maintenance _____	45
3.3.4. Outils technologiques dans le cycle de vie produit _____	45
3.4. Le PLM _____	46
3.4.1. Périmètre d'action du PLM _____	47
3.4.2. Vers une définition du PLM _____	47
3.4.2.1. Le PLM selon le système de production de l'entreprise _____	47
3.4.2.2. Le PLM selon ses fournisseurs _____	49
3.4.3. Briques technologiques métiers de base du PLM _____	51
3.4.3.1. Le Portfolio Project Management _____	51
3.4.3.2. Le Customer Need Management _____	51
3.4.3.3. Le Direct Material Sourcing _____	51
3.4.3.4. Le Product Data Management _____	51
3.4.3.5. Le Collaborative Product Design _____	51
3.4.4. Fonctionnalités fondamentales du PLM _____	52
3.4.4.1. La communication et la notification _____	53
3.4.4.2. Le transfert et acheminement de donnée _____	53
3.4.4.3. La traduction et conversion des données _____	53
3.4.4.4. La visualisation _____	53
3.4.4.5. La collaboration _____	53
3.4.4.6. L'intégration d'application d'entreprise _____	54
3.4.4.7. L'administration système _____	54
3.4.5. Gestion de la complexité des produits _____	54
3.4.5.1. Gestion de configuration _____	54
3.4.5.2. Gestion de la nomenclature le long du cycle de vie _____	55
3.4.6. Tendances chez les fournisseurs de PLM _____	56
3.4.7. Problèmes ouverts dans le PLM _____	59
3.5. Conclusion _____	60
Deuxième partie : Analyse de méthodologies d'intégration _____	61
Chapitre 4: Méthodologies d'intégration d'applications dans une perspective PLM _____	62

4.1. Introduction	62
4.2. Intégration par les standards	62
4.2.1. Qu'est-ce qu'un standard ?	62
4.2.2. Classification des standards	63
4.2.2.1. Les standards ouverts	63
4.2.2.2. Les standards industriels	63
4.2.2.3. Les standards de fait	63
4.2.3. Rôle des standards comme supports du PLM	64
4.2.3.1. Evolution historique des standards PLM	65
4.2.3.2. La norme internationale STEP	66
4.2.3.3. Développement des nouveaux standards	70
4.2.3.4. Harmonisation des standards existants	71
4.2.4. Vers une typologie des standards PLM	71
4.2.4.1. Type Zéro : standards de langages d'implémentation	72
4.2.4.2. Type Un : standard de modélisation de l'information	72
4.2.4.3. Type Deux : Standards de contenu : domaines de discours	73
4.2.4.4. Type Trois : Standards d'architecture logicielle	74
4.2.5. Convergence des standards PLM	74
4.2.6. Conclusion de l'approche par standards	76
4.3. Intégration par les données métier techniques	77
4.3.1. Les features dans le cycle de vie produit	77
4.3.2. Technologie des features	78
4.3.2.1 Origines et définitions des features	78
4.3.2.2. La modélisation à base de features	78
4.3.2.3. Les différents types de features	79
4.3.3. Approche d'intégration à base de features	80
4.3.3.1. Les Standards, les classes et les hiérarchies de features	80
4.3.3.2. Définition des features dans STEP	81
4.3.3.3. Exemple d'intégration à base de features entre différents points de vue métiers	81
4.3.4. Conclusion de l'approche à base de données métier techniques	83
4.4. Intégration par les connaissances métier génériques et les ontologies	83
4.4.1. Généralités sur les ontologies	84
4.4.1.1. Origine des ontologies	84
4.4.1.2. Définitions des ontologies	84
4.4.1.3. Les constituants d'une ontologie	85
4.4.2. L'environnement PLM et les ontologies	87
4.4.2.1. Les connaissances dans le développement de produit	87
4.4.2.2. Les ontologies dans le développement de produit	88
4.4.3. Conclusion de l'approche d'intégration par les ontologies	89
4.5. Conclusion	89

Chapitre 5: Proposition d'une approche d'intégration basée sur les ontologies et orientée PLM **92**

5.1. Introduction	92
5.2. Première vision : Intégration d'ontologies existantes	92
5.2.1. Typologie des ontologies existantes	93
5.2.1.1. Ontologies de représentation de connaissances	93
5.2.1.2. Ontologie de haut niveau	93
5.2.1.3. Méta-ontologies	93
5.2.1.4. Ontologie de domaine	93

5.2.1.5. Ontologie de tâche	93
5.2.1.6. Ontologie d'application	94
5.2.2. Ontologies étudiées	94
5.2.3. Evaluation des ontologies étudiées	95
5.2.4. Discussion de l'évaluation	95
5.2.4.1. SUMO	96
5.2.4.2. CYC	97
5.2.4.3. Generalized Upper Model	97
5.2.4.4. Entreprise	97
5.2.4.5. TOVE	97
5.2.4.6. Ontoweb	98
5.2.5. Application	98
5.2.6. Problèmes liés à la fusion d'ontologies	99
5.3. Deuxième vision : développement d'une ontologie générique	100
5.3.1. Méthodologie de construction d'ontologies	100
5.3.2. Mécanisme de construction de l'ontologie produit	103
5.3.3. Description de l'ontologie de produit	104
5.3.3.1. Composition de l'ontologie	105
5.3.4. Instanciation de l'ontologie de produit	109
5.3.4.1. Exemple de produits du secteur académiques	110
5.3.4.2. Exemples de produits du secteur industriel	113
5.3.5. Exploitation de l'ontologie de produit	125
5.3.5.1. Exploitation par un mécanisme de requêtes	125
5.3.5.2. Exploitation par parcours et exploration de l'ontologie	126
5.3.5.3. Exploitation par inférence	126
5.3.6. Evaluation de l'ontologie	127
5.4. Conclusion	128
Conclusion générale	130
1. Contributions	130
2. Perspectives	131
Bibliographie	133
1. Références bibliographiques	133
2. Références techniques	144
Annexe 1 : ACRONYMES	149
Annexe 2 : Présentations des entreprises d'accueil	151

Liste des figures

FIGURE 1 - ETAPES DU PROCESSUS DE CONCEPTION	14
FIGURE 2 - LA CONCEPTION ASSISTEE	16
FIGURE 3 - EXEMPLE DE MAQUETTE NUMERIQUE (DMU) [NGU 06]	19
FIGURE 4 – UN FEATURE EN TANT QUE « VUE » SUR UN PRODUIT [DEN 02]	36
FIGURE 5 – PRINCIPALES PHASES DU CYCLE DE VIE D’UN PRODUIT	38
FIGURE 6 - PHASES DU CYCLE DE VIE PRODUIT EN POST-PRODUCTION	39
FIGURE 7 – INTERET DE L’ANALYSE DU CYCLE DE VIE PRODUIT	41
FIGURE 8 - MODELE DE REFERENCE DU GERAM POUR LE CYCLE DE VIE PRODUIT [GER 98]..	42
FIGURE 9 – MODELE EN EPICYCLE DU CYCLE DE DEVELOPPEMENT DE PRODUIT	43
FIGURE 10 - FONCTIONS FORMANT LE NOYAU D’UN SYSTEME PLM [CIM 01]	53
FIGURE 11 - INVESTISSEMENTS PLM PASSES ET FUTURS (2004-2008) [CIM 02B].....	57
FIGURE 12 - DISTRIBUTION DES COMPOSANTS CPDM [CIM 02B]	58
FIGURE 13 - ARCHITECTURE DE DOCUMENT DE STEP [KEM 99].....	69
FIGURE 14 – STANDARDS COURANTS DANS LE PLM ET LEUR COUVERTURE [ESW 06]	76
FIGURE 15 - EXEMPLE DE PIECE	82
FIGURE 16 - MODES DE CONVERSION DES CONNAISSANCES [NOT 95].....	86
FIGURE 17 - DIAGRAMME DE CLASSES DU CPM [FEN 04].....	105
FIGURE 18 - HIERARCHIE DES PRINCIPAUX CONCEPTS DE L’ONTOLOGIE DE PRODUIT	106
FIGURE 19 – PIECES COMPOSANT LE PRODUIT VACUUM SUITCASE	110
FIGURE 20 - HIERARCHIE D’ASSEMBLAGE DU PRODUIT VACUUM SUITCASE	111
FIGURE 21 - IMPLEMENTATION DU VACUUM SUITCASE.....	112
FIGURE 22 - REPRESENTATION GRAPHIQUE DE L’OCCURRENCE DU VACUUM SUITCASE.....	113
FIGURE 23 - POMPE DOUBLE A CYLINDREE VARIABLE A8VOSR	114
FIGURE 24 - VUE ECLATEE DE LA POMPE DOUBLE A CYLINDREE VARIABLE	115
FIGURE 25 - VUE ECLATEE DE L’ENSEMBLE REGLAGE	116
FIGURE 26 - VUE ECLATEE DE L’ENSEMBLE ROTOR HYDROSTATIQUE1	118
FIGURE 27 - VUE ECLATEE DE L’ENSEMBLE ROTOR HYDROSTATIQUE2	119
FIGURE 28 - VUE ECLATEE DE L’ENSEMBLE ROTOR HYDROSTATIQUE11, ELEMENT HYDRAULIQUE	120
FIGURE 29 - IMPLEMENTATION DE LA POMPE DOUBLE A CYLINDREE VARIABLE.....	121
FIGURE 30 - LA TOURNETTE.....	122
FIGURE 31 -QUELQUES PIECES DE L’ENSEMBLE DE LA TOURNETTE	122
FIGURE 32 - PARTIE DE LA TOURNETTE.....	123
FIGURE 33 - IMPLEMENTATION DE L’EXEMPLE DE LA TOURNETTE	124
FIGURE 34 - EXEMPLE DE REQUETE SUR LES INSTANCES DE L’ONTOLOGIE	125
FIGURE 35 - EXEMPLE DE REQUETE COMPLEXE	127

Liste des tableaux

TABLEAU 1 - DIMENSIONS COMMERCIALES ET PHASES DU CYCLE DE VIE PRODUIT	40
TABLEAU 2 - MODELE DE REFERENCE DU CYCLE DE VIE ET OUTILS TECHNOLOGIQUES ASSOCIES [TER 05].....	46
TABLEAU 3 - ACRONYMES DU PLM [TER 05]	50
TABLEAU 4 - FONCTIONS TECHNOLOGIQUES DE BASE LE LONG DU CYCLE DE VIE PRODUIT	52
TABLEAU 5 - APERÇU SUR LES STANDARDS OUVERTS UTILISES DANS LE PLM [SRI 05]	64
TABLEAU 6 - LISTE DES ONTOLOGIES ETUDIEES.	94
TABLEAU 7 - RESUME DES CRITERES D’EVALUATION DES ONTOLOGIES ETUDIEES.	95
TABLEAU 8 - RESULTATS DE L’EVALUATION DES ONTOLOGIES ETUDIEES.....	96
TABLEAU 9 – LISTE DES PIECES DU PRODUIT VACUUM SUITCASE	111
TABLEAU 10 - LISTE D’ENSEMBLE DES PIECES DE LA POMPE DOUBLE A CYLINDREE VARIABLE	115
TABLEAU 11 - LISTE D’ENSEMBLE DES PIECES DE L’ENSEMBLE REGLAGE POUR A8V.....	117
TABLEAU 12 - LISTE D’ENSEMBLE DES PIECES DE L’ENSEMBLE ROTOR HYDROSTATIQUE1	118
TABLEAU 13 - LISTE D’ENSEMBLE DES PIECES DE L’ENSEMBLE ROTOR HYDROSTATIQUE2	119
TABLEAU 14 - LISTE D’ENSEMBLE DES PIECES DE L’ENSEMBLE ROTOR HYDROSTATIQUE11, ELEMENT HYDRAULIQUE	120
TABLEAU 15 - LISTE DES PIECES DE L’ENSEMBLE DE LA TOURNETTE	124

Introduction Générale

Depuis près de deux décennies, l'environnement des entreprises industrielles a subi de profondes mutations. Les nouveaux enjeux de la mondialisation et de la compétitivité internationale ont conduit les dirigeants des entreprises à adopter de nouvelles approches dans la gestion des différents processus industriels. Pour être compétitifs sur le marché et afin de satisfaire une clientèle de plus en plus exigeante, les industriels doivent adopter des stratégies qui visent à promouvoir l'innovation et réduire le temps de développement de leurs produits. Le besoin de compétitivité et de rapidité dans le développement des produits a encouragé la sous-traitance et le recours à la délocalisation afin de mieux se concentrer sur un créneau et essayer d'acquérir un avantage concurrentiel sur son métier d'origine. De là est né le concept d'entreprise étendue. Une entreprise étendue est en fait un ensemble d'entreprises et d'acteurs économiques associés pour la réalisation de projets communs. Tout en cherchant à trouver des terrains d'entente avec ses différents partenaires et afin d'éviter d'utiliser ses ressources pour réaliser des parties de projets qu'elle n'a pas la possibilité de réaliser elle-même, l'entreprise doit faire face à l'innovation qui est devenue le facteur clé de succès le plus important. Sous la contrainte d'une pression à l'innovation de plus en plus forte, les accords de coopération sont devenus des options stratégiques incontournables.

Cette forme d'organisation se développe fortement suite à la mondialisation et au développement des NTICs (Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication). Elle correspond bien à l'économie du savoir, qui demande la mise en commun de connaissances et compétences. Elle reflète aussi le besoin de faire fonctionner en commun des entités situées chacune, à l'endroit de la planète le plus propice pour son type particulier d'activité.

La gestion d'une entreprise étendue se caractérise par une complexité plus grande que pour une entreprise classique. La délocalisation des sites et la fragmentation des sociétés en départements ou services distincts et distribués ont accru les besoins en terme d'échange, de partage et d'archivage de l'information. Les différentes activités industrielles à fort caractère technologique génèrent et manipulent de grandes quantités de données techniques aux formats hétéroclites qui nécessitent d'être échangées, gérées et stockées de manière cohérente et standardisée. De ces préoccupations sont nées l'ingénierie simultanée ainsi que ses méthodes de conception concourante et intégrée qui visent à simplifier et à enrichir le travail coopératif, de façon à accroître la réactivité de l'entreprise et à réduire ses coûts de production. Ces types d'approche offrent des supports techniques, organisationnels et humains pour coordonner efficacement les échanges de données et pour partager les ressources entre les différents acteurs de l'entreprise.

Elles ont notamment conduit à l'émergence de méthodes et systèmes assurant une gestion globale des données techniques issues des processus d'ingénierie. C'est dans cet esprit qu'est né le concept de PLM ou Product Lifecycle Management. Considéré comme une approche stratégique de management des informations relatives au produit, depuis sa définition jusqu'aux phases de maintenance en passant par la fabrication, le PLM est avant tout une discipline industrielle. Il représente un ensemble de logiciels destinés à gérer toutes les informations relatives à un produit durant tout son cycle de vie. En suivant de près les données du produit depuis sa conception jusqu'à son démantèlement, les systèmes PLM garantissent la bonne maîtrise du développement des produits et la traçabilité de toutes les données associées. De nos jours, les produits techniques sont de plus en plus complexes et leur conception nécessite la participation de plusieurs acteurs (mécanicien, automaticien, électricien, maintenicien...). Ces derniers, le plus souvent dispersés, doivent travailler sur des modèles données et des logiciels communs ou spécifiques avec des échanges très fréquents.

Se pose alors le problème délicat de l'échange correct des données et leur traduction. Dans ce contexte, l'enjeu majeur réside dans l'intégration des différentes activités, l'organisation et la coordination des différents métiers en vue d'assurer une bonne circulation des données, une interopérabilité des diverses applications et un échange efficace entre les différents acteurs.

1. Motivation

Dans cette thèse, nous nous sommes d'abord intéressés à étudier le rôle de l'infographie via la modélisation de solide dans les activités de conception et de fabrication de produits industriels dans les disciplines de CAO et de CFAO, et plus généralement, dans les technologies XAO. La modélisation de solide s'est avérée insuffisante dans ce contexte du fait qu'elle ne modélise que la géométrie du produit. Or, la complexité des produits industriels va bien au-delà de la simple description de la géométrie. C'est pourquoi, la modélisation de solide a été remplacée par la modélisation dite de produit qui véhicule des informations dont la sémantique est plus riche et plus pertinente pour les diverses applications métiers qui manipulent le produit durant tout son cycle de vie. La modélisation de produit est basée sur le concept de caractéristique de forme ou form features qui est une entité géométrique représentant une partie de la pièce ou du produit à laquelle est rattachée une sémantique spécifique à un contexte d'ingénierie précis. Les entreprises manufacturières concernées par le développement de produits mécaniques sont caractérisées par l'existence de plusieurs acteurs et d'une quantité importante d'informations de différentes natures, types et formats caractéristiques des activités qui s'y déroulent. Un des problèmes les plus importants auxquels ces entreprises doivent faire face est l'intégration des informations des différents métiers, en vue d'assurer une bonne circulation des données et un échange efficace entre les différents acteurs. Ce problème se pose aussi bien pour les données géométriques des modèles de CAO et de CFAO que pour les autres données du produit manufacturé. Pour répondre à ces préoccupations, nous avons orienté notre contribution vers le problème de l'intégration des applications centrées sur le produit. La généralisation de la notion de feature permet d'envisager une telle intégration. D'autre part, en se rendant compte que le produit industriel est un ensemble complexe qui ne peut être appréhendé uniquement par le biais de sa géométrie, nous avons dirigé nos investigations dans le reste de cette thèse à explorer divers mécanismes d'intégration en plus de celui des features. C'est ainsi que nous avons étudié les approches d'intégration par les standards et les approches à base d'ontologies. L'intégration est entrevue pendant tout le cycle de vie du produit : de sa conception par le biais de sa modélisation géométrique à sa fabrication, ce qui explique mon intérêt pour le PLM (Product Lifecycle Management). Ce dernier est apparu comme un des outils les plus adéquats pour la gestion des données du produit durant tout son cycle de vie. Notre contribution s'inscrit donc dans une optique PLM.

Dans ce travail, nous nous sommes fixés un double objectif : en premier lieu connaître l'aspect modélisation de produit dans le domaine de la conception mécaniques CAO, puis, dans une perspective de généralisation, en second lieu étudier, les techniques d'intégration des activités d'ingénierie plus connues sous l'acronyme de XAO. Cette étude est envisagée sur l'ensemble du cycle de vie du produit allant de l'idée de sa conception à son démantèlement. Par conséquent, elle s'inscrit dans une vision PLM. L'utilisation du PLM nous permet d'envisager une intégration qui couvre tout le cycle de vie du produit ainsi qu'une disponibilité pour les différentes applications des informations les plus à jour pour les utilisateurs appropriés, au bon endroit et au moment opportun.

2. Contribution de la thèse

Notre contribution à ce travail consiste dans un premier temps à analyser quelques mécanismes d'intégration qui se situent à trois niveaux de description du produit différents, à savoir :

- **Une description standardisée des données** : qui s'appuie principalement sur l'utilisation de standards d'échange pour les données du produit. Nous proposons une étude détaillée des standards dans le PLM, leur typologie, en distinguant : les standards ouverts (STEP, PLCS...), les standards de fait (XML, ...) et les standards industriels (PLM-XML de UGS, X3D de Dassault...) et en illustrant leur rôle dans l'interopérabilité entre applications.
- **Description des connaissances métier techniques** : les données sur lesquelles est basée l'intégration ici sont des connaissances métier techniques très utilisées dans les applications d'ingénierie (les applications XAO), plus connues sous le nom de Features ou formes caractéristiques: nous définissons d'abord le concept de feature et comment l'utiliser pour adapter et/ou intégrer selon divers points de vue.
- **Description des connaissances métier génériques** (ontologies, méta données): potentiellement porteuses d'une sémantique plus riche et plus complète sur tous les aspects du produit. En tenant compte de la sémantique commune aux informations des différents points de vue métier, on pourrait exploiter ces aspects là pour concevoir une ontologie commune décrivant le produit selon plusieurs points de vue. En fait, on pourrait voir cette approche comme une généralisation des approches précédentes à un niveau d'abstraction plus élevé : celui de la sémantique.

Dans un second temps, nous proposons une implémentation de l'approche basée ontologies. En considérant la sémantique commune des données produit impliquées dans les différentes phases de développement, on propose une ontologie du produit la plus complète et la plus générique possible, dotant ainsi les différentes vues du produit et les acteurs associés d'un vocabulaire commun et unifié pour la manipulation des données produit le long de son cycle de vie. Nous proposons une ontologie de base qu'on pourrait enrichir à long terme afin de la rendre la plus complète possible pour être exploitable par plusieurs activités et plusieurs points de vue métier du cycle de vie.

3. Organisation de la thèse

Cette thèse est organisée en deux grandes parties : l'état de l'art dans les chapitres I et II et III et l'analyse de méthodologies d'intégration dans les chapitres IV et V.

▪ Chapitre 1 : Modélisation produit et technologies XAO

Dans ce chapitre, nous nous proposons d'élucider le rôle de la modélisation de solide dans la conception et la fabrication industrielles en CAO et en CFAO, et plus généralement, dans les technologies XAO. La modélisation de solide étant insuffisante dans ce contexte du fait de l'information de bas niveau qu'elle utilise, a été remplacée par la modélisation de produit qui véhicule des informations dont la sémantique est plus pertinente pour ce type d'application. La modélisation de produit est basée sur le concept de caractéristique de forme ou form features. A travers la technologie des feature, on se rend compte que le produit industriel est un ensemble complexe qui ne peut être décrit uniquement par le biais de sa géométrie.

▪ **Chapitre 2 : De la modélisation produit au PLM**

Dans ce chapitre, nous expliquons comment nous avons été amenés à faire cette étude, les principales motivations qui nous ont poussés à nous orienter vers la modélisation de produit et le problème de l'intégration dans une perspective de cycle de vie.

▪ **Chapitre 3 : Le PLM et le cycle de vie produit**

Ce chapitre dresse l'état de l'art sur le PLM et le cycle de vie du produit en mettant l'accent sur les produits mécaniques. Nous nous intéresserons notamment à la description du cycle de vie produit et des phases qui le composent, à la notion de PLM et son contexte historique d'apparition ainsi que sa stratégie de gestion de tout le cycle de vie du produit industriel. Ce chapitre met en évidence les aspects pris en charge par le PLM et les questions ouvertes qui ne sont pas encore résolues et qui constituent des domaines de recherche à part entière.

▪ **Chapitre 4 : Méthodologies d'intégration d'applications dans une perspective PLM**

Ce chapitre a pour principal objectif l'analyse de quelques méthodes d'intégrations qui existent et leur évaluation dans un cadre PLM. Ainsi, selon le niveau auquel peut se faire cette intégration, on distingue les trois approches suivantes :

- Une intégration au niveau description standardisée des données produit. Une étude détaillée des standards dans le PLM est faite à ce niveau en illustrant le rôle joué par les standards d'échange, leurs domaines, leur utilité et les possibilités d'intégration qu'ils offrent.
- Une intégration au niveau des connaissances métier techniques, en utilisant principalement une approche par les Features ou caractéristiques de forme: nous définissons d'abord le concept de feature et comment l'utiliser pour adapter et/ou intégrer selon divers points de vue
- Une intégration au niveau des connaissances métier génériques principalement illustrée par l'utilisation des ontologies, potentiellement porteuses d'une sémantique plus riche et plus complète sur tous les aspects du produit. Cette Partie est introduite ici et fera l'objet d'une étude détaillée dans le chapitre 5.

▪ **Chapitre 5 : Proposition d'une approche d'intégration orientée PLM basée sur les ontologies**

Ce chapitre montre notre contribution au problème d'intégration à travers le développement d'une ontologie de produit la plus complète et la plus générique possible, exprimée en langage OWL. Cette ontologie est ensuite instanciée puis nous montrons à travers des exemples d'utilisation comment elle peut être exploitée à des fins d'intégration, dans une perspective PLM. Pour ce faire, nous utilisons quelques exemples de produits, académiques et du secteur industriel dans des scénarios typiques d'intégration. Nous décrivons en détails dans cette partie des cas de produits du secteur industriel fournis par des entreprises nationales, leur instanciation et leur utilisation dans un contexte PLM, ceci afin de mieux étayer les possibilités concrètes que peut procurer l'utilisation de notre ontologie comme outil d'intégration et sa genericité.

Ce travail est achevé par une conclusion générale résumant l'ensemble des objectifs fixés et les résultats obtenus ainsi qu'un ensemble de perspectives à court et à moyen terme.

Première partie : Etat de l'art

Chapitre 1 : Modélisation produit et technologies XAO

1.1. Introduction

Il y a quelque 2000 ans, Archimède a dit : « *Donnez-moi un levier et un point d'appui et je soulèverai la terre* ». Sur cette idée repose toute la mécanisation du travail manuel. Il proposa de donner un levier à nos muscles permettant ainsi d'en multiplier la force. Il aura fallu deux millénaires pour que les connaissances et la maîtrise technologique de l'homme soient suffisamment avancées pour permettre de mettre en pratique cette idée et de la généraliser à presque toutes les activités ou tâches manuelles. On a alors assisté à la révolution industrielle qui a consisté à exploiter cette idée par la mise au point de machines de toutes sortes comme autant de «leviers» pour le travail manuel. Le tout a été accompagné d'investissements massifs dans ces machines ou équipements, résultant dans une hausse très forte de la productivité.

C'est ainsi que dans le domaine du génie, sont apparus les équipements de dessin assisté par ordinateur permettant de réaliser, pour ce type de tâches, des gains de productivité appréciables. Pour ces activités, la technologie est disponible à des coûts très abordables, grâce aux progrès récents. Dès lors les applications et les bénéfices de ces différents équipements se sont élargis. La Conception Assistée par Ordinateur ou CAO (CAD : Computer Aided Design) représente un des outils parmi les plus connus et les plus utilisés dans plusieurs domaines dont le génie mécanique notamment.

Dans ce chapitre, nous nous proposons d'élucider le rôle de l'infographie dans le développement d'outils de conception et de fabrication industrielles en CAO (Conception Assistée par Ordinateur) et en CFAO (Conception et Fabrication Assistées par Ordinateur), et plus généralement, dans les technologies XAO. Nous commençons par donner un aperçu des disciplines de conception ainsi que de conception assistée par ordinateur, puis nous décrivons dans le paragraphe suivant le rôle de l'infographie dans le domaine de la conception industrielle à travers la modélisation de solides, utilisée en particulier pour la représentation des pièces mécaniques. Nous montrons que les modélisations géométriques et les outils graphiques associées (modeleurs géométriques) ne parviennent pas à représenter les produits industriels de façon adéquate pour les concepteurs et les différents acteurs impliqués dans les applications d'ingénierie car elles sont basées sur des informations purement géométriques dont la sémantique est de bas niveau. Pour remédier à ce problème, un nouveau concept a été introduit, celui des caractéristiques de forme ou form features qui sont des entités géométriques représentant des régions ou des zones de la pièce ou du produit ayant une sémantique spécifique à un contexte d'ingénierie précis tel que la conception, la fabrication, la planification des gammes d'usinage etc. De ce fait, les features véhiculent une sémantique de plus haut niveau que la géométrie pure des pièces. A leur origine, les objets ou produits industriels sont décrit à l'aide des modélisations géométriques, et pour pouvoir être exploités efficacement par les applications d'ingénierie, il est nécessaire de traduire ces modélisations en caractéristiques de forme, c'est pourquoi, nous nous intéresserons dans le paragraphe 3 de façon plus détaillée aux caractéristiques de forme et comment les reconnaître, les générer ou les convertir. A travers la technologie des feature, on se rend compte que le produit industriel est un ensemble complexe qui ne peut être appréhendé uniquement par le biais de sa seule géométrie.

1.2. De la CAO aux technologies XAO

1.2.1. La conception en ingénierie

La définition de la conception est étroitement liée au vécu du travail de l'ingénieur. Il s'agit d'imaginer, de formuler des solutions pour remplir des fonctions bien définies à l'intérieur d'un ensemble de contraintes. Généralement, l'atteinte d'une solution (ou design) n'est pas directe sauf pour des problèmes extrêmement simples. La conception se fait généralement selon un processus itératif : on distingue d'abord le choix d'un modèle représentant le phénomène physique du problème, ensuite, un premier design est élaboré et, on vérifie si les contraintes sont satisfaites. On modifie le design et on répète jusqu'à ce que le design vérifie les contraintes.

On peut décrire la conception ou le design comme un processus itératif au cours duquel un objet est conçu et modifié afin qu'il puisse remplir des fonctions bien définies et se conformer à un ensemble de contraintes.

On identifie plusieurs étapes dans cette démarche, tel que schématisé sur la Figure 1 :

- i) création d'un modèle de l'objet,
- ii) analyses, essais et simulation,
- iii) construction de prototypes,
- iv) modifications,
- v) réalisation de l'objet.

À quelques variantes près dans l'enchaînement de ces étapes, la méthodologie est la même que l'objet, soit un barrage, un circuit électrique, une pièce mécanique, etc.

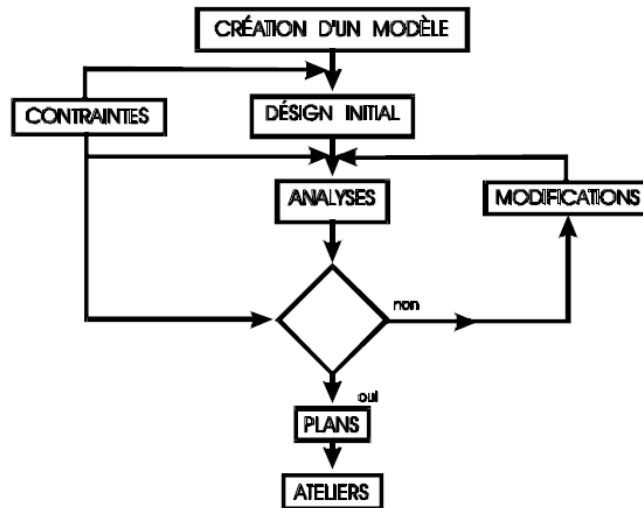


Figure 1 - Etapes du processus de conception

D'autres caractéristiques communes à l'ensemble des activités de conception sont les moyens ou médias utilisés par le concepteur :

- i) **outils analytiques** - formules empiriques et équations issues de modèles mathématiques. Ceux-ci sont utilisés aussi bien lors de la création d'un modèle que durant son analyse ou sa modification;
- ii) **information** - propriétés et caractéristiques de toutes sortes, design antérieurs, etc. Ces informations auxquelles l'ingénieur fait appel sont contenues dans des manuels, dans sa propre mémoire, dans des plans, etc. Leurs formes sont variées : chiffrées, graphiques, textuelles. On a recours aux informations également à toutes les phases du processus de conception;

- iii) **communication** - l'ingénieur doit communiquer ou consacrer les résultats de son travail à l'une ou l'autre des phases. Par exemple, il lui faut communiquer la forme du modèle pour la réalisation d'un prototype, ou bien les résultats d'un calcul de contraintes pour réaliser certaines modifications. Les modes de communication sont graphiques, chiffrés ou bien textuels.

Pris séparément, ces aspects donnent lieu à des activités créatives et des activités non créatives. L'aspect créatif de l'activité de conception se manifeste lors de la création d'un modèle, mais également tout au long du cheminement, c'est-à-dire dans le choix d'une méthode de calcul plutôt qu'une autre, l'appel à telle information ou l'interprétation d'un calcul, l'élaboration d'une modification à la suite d'une simulation, etc. La coordination de toutes ces activités en fonction d'un objectif et menant à une réalisation est la processus de conception ou design.

1.2.2. La conception assistée

À mesure que l'envergure et la complexité des projets augmentent, chacune des étapes et des moyens mis en oeuvre deviennent plus élaborés et nécessitent une certaine spécialisation. Ainsi le concepteur ne peut plus communiquer avec un technicien à l'aide d'un dessin fait rapidement à main levée au-delà du stade préliminaire. La réalisation des pièces est telle que beaucoup d'information doit être transmise de façon complète et non équivoque. Ceci a donné lieu au dessin industriel, c'est-à-dire la codification de la communication graphique. De façon semblable, on ne peut plus analyser les contraintes dans une pièce mécanique ou la réponse d'un circuit par une simple formule tirée d'un manuel. On utilise plutôt un calcul numérique par une méthode discrète tels les éléments finis. Le concepteur communique au programme de calcul la géométrie de la pièce (ou la topologie du circuit) sous une forme codifiée.

Donc à chacune des étapes, le concepteur fait appel à des "intermédiaires" qui peuvent selon la disponibilité d'outils adéquats restreindre, ralentir et / ou augmenter le temps et le coût d'un design. Ainsi, en travaillant avec le même objet, il le communique par différents médias à différents "intermédiaires" et sous différents formats (dessins, données chiffrées...).

On atteint donc le point où la coordination de ces activités dépasse la capacité d'une seule personne ou d'un groupe de personnes cantonnées dans le même bureau. Avec le progrès enregistré dans l'informatisation des différentes tâches inhérentes à la conception, ces fonctions, de nature non créatives, ont pu être confiées à des auxiliaires humains et/ou matériels (dessinateurs, programmeurs) et libérer le concepteur pour les tâches créatives qui sont du niveau de ses aptitudes et de sa formation. On atteint ainsi la conception assistée dont la nature n'a pas changé. Seulement certaines modalités en ont été modifiées.

On peut schématiser cette structure comme à la Figure 2.

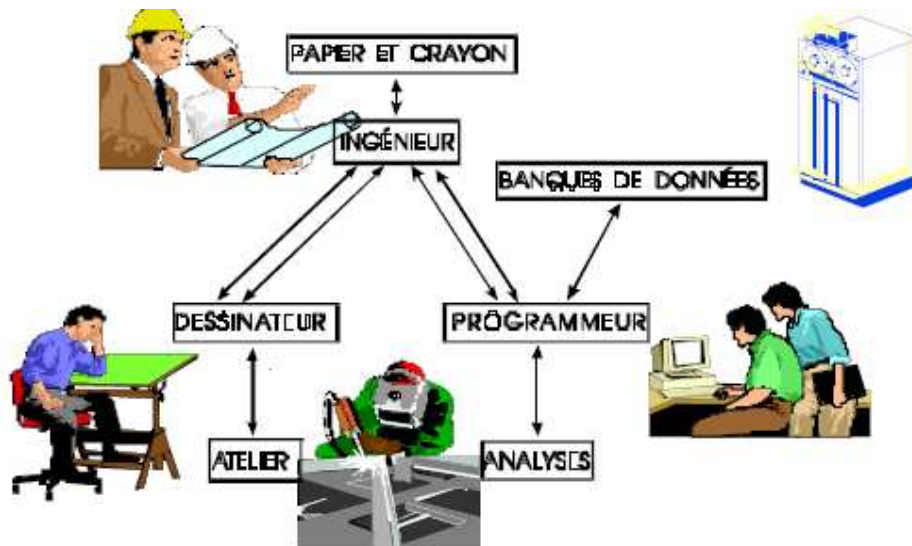


Figure 2 - La conception Assistée

1.2.3. La Conception Assistée par Ordinateur (CAO)

Les exigences technologiques donnent lieu à des projets complexes et qui résultent en un morcellement du travail. La proportion des tâches non créatives par rapport aux tâches créatives augmente et ceci jusqu'au point où elles inhibent le processus de conception. Dans un contexte de marché, il est inévitable que l'on songe à augmenter son rendement, par des investissements massifs dans les machines et équipements dans le but de hausser la productivité des travailleurs et promouvoir les tâches créatives. L'industrie se trouve vis-à-vis ses travailleurs intellectuels dans la même situation qu'au début du siècle avec les travailleurs manuels. La CAO (Conception Assistée par Ordinateur) a été créée afin de permettre la hausse de la productivité des ingénieurs, en mettant à leur disposition des outils informatiques plus élaborés et plus faciles à utiliser.

En effet, les progrès dans le domaine de l'électronique ont permis de mettre à la disposition de l'ingénieur une puissance de calcul, de mémoire et de traitement énorme et ceci à bon marché. D'autre part, la création de logiciels extrêmement évolués a permis d'informatiser de nombreuses tâches non créatives du processus de conception tout en libérant l'esprit pour les tâches de jugement et les tâches décisionnelles. On obtient alors un lien symbiotique utilisant au mieux les qualités de l'homme et de l'ordinateur. La division des tâches entre l'ingénieur et la machine n'est certes pas aisée mais déjà des systèmes existants ont fait d'énormes progrès vers une telle intégration. La façon dont le cerveau humain combine des données et fait appel à des ressources en fonction de certains objectifs est complexe et loin d'être claire. La réalisation de cet objectif constitue un des domaines d'avenir et sa maîtrise sera l'équivalent de la révolution industrielle pour le travail intellectuel.

On utilise la capacité de calcul, de stockage et de traitement de l'ordinateur, alliés aux capacités de reconnaissances de formes, d'évaluation, de jugement de situations complexes (conflictuelles) et les possibilités de l'intuition de l'humain pour imaginer de nouvelles solutions. Les avantages sont immédiatement apparus aux industriels et on a assisté au cours des quelques dernières années à une intégration de l'informatique dans les méthodes de calcul et de conception de l'ingénieur.

1.2.4. Avantages de La CAO

Sous l'effet de fortes pressions provenant de la compétition, de la conjoncture économique, de diverses contraintes du public et des organismes gouvernementaux pour de meilleurs produits

(et à meilleur marché), l'industrie est forcée de hausser la productivité du personnel technique. Il est vite apparu qu'à l'aide de l'informatique, des économies appréciables sont possibles pour chacune des différentes phases du processus de conception.

1) Création d'un modèle

À l'aide des systèmes CAO disponibles sur le marché, la création géométrique d'un objet (pièce, circuit, etc.) est grandement facilitée. On peut également étudier l'objet sous divers angles et en tirer des copies à volonté à différents niveaux de réalisme.

2) Analyse

Les caractéristiques de l'objet, une fois créé, sont immédiatement disponibles pour des programmes d'analyse ou de simulation (éléments finis, vibrations, réponses en fréquence..) et, en retour, l'utilisateur reçoit les résultats de ces calculs sous forme graphique pour évaluer si l'objet est conforme aux contraintes.

3) Modifications

Suite à l'analyse ou à la simulation, des modifications sont faciles et rapides à incorporer, au modèle informatique. Avec un tel outil, il est possible d'envisager plusieurs solutions et de choisir la plus adéquate. A titre d'exemple, on cite dans l'industrie automobile l'utilisation d'outils de simulation combinés à des techniques graphiques interactives pour la mise au point d'un nouveau modèle.

Il est évident que la CAO n'est qu'un outil, mais un outil qui modifie l'exercice de la profession de l'ingénieur et permet de faire un meilleur travail. Par exemple, dans le domaine des structures, les programmes d'analyses sont devenus très précis et complets de manière à ce que le comportement d'éléments telles les poutres, etc., peut être analysé avec beaucoup plus de fiabilité et de détails qu'avec les formules empiriques utilisées auparavant. Il est alors envisageable d'optimiser un design par l'utilisation itérative de ces outils et de déceler des comportements qui ne seraient apparus que lors de la réalisation du prototype (ou pire, lors du produit fini). Cette approche est en vigueur depuis plusieurs années dans les domaines de haute technologie (aviation, nucléaire, électronique ...) où les méthodes traditionnelles sont devenues désuètes. La progression de ces méthodes avancées de conception est rapide et à moyen terme, elles seront utilisées dans la plupart des entreprises.

1.2.5. Les technologies XAO

L'exemple de la CAO donné dans le paragraphe précédent donne une idée claire sur l'évolution des outils technologiques utilisés dans le domaine de la seule conception. Or, il s'avère actuellement que la conception ne représente qu'une phase dans le processus global de développement de produits industriels. L'automatisation des tâches et des outils a considérablement progressé, bien au-delà de la phase de conception pour inclure la planification, la conception des gammes d'usinage, la fabrication... Avec pour conséquence l'apparition d'une panoplie de techniques (outils) utilisées chacune dans une phase de développement spécifique. Ainsi, des acronymes comme la CFAO (Conception et Fabrication Assistées par Ordinateur), la CAPP (Computer Aided process Planning) et la CAE (Computer Aided Engineering) ont fait leur apparition. Plus généralement on parle de XAO où le X représente une phase de développement du produit : conception, planification, fabrication ... L'acronyme d'XAO ou (CAX : Computer Aided X) désigne les technologies informatiques 3D orientées vers l'assistance des ingénieurs dans la conception et l'étude d'un produit. Cette technologie est conçue pour assister les ingénieurs et les aider face aux nouvelles contraintes dans leurs activités de conception, d'analyse et de fabrication [Tan 01], [Ros 99],[Fuh 05]. Actuellement, la plupart de ces solutions sont basées sur la représentation 2D et 3D du produit. Cette adaptation depuis la CAO vers la XAO est principalement due à l'évolution logicielle et matérielle résultant du besoin de représenter des produits virtuels (qui remplacent les produits réels lors de simulation et d'essais coûteux). La XAO comprend un large spectre

d'outils utilisés en ingénierie pour le développement de produits mécaniques et électromécaniques. De nos jours, les outils XAO ne se limitent pas à la CAO mais comptent d'autres outils tels que l'IAO (Ingénierie Assistée par Ordinateur), la CFAO (Conception et Fabrication Assistées par Ordinateur), la GPAO (Gestion de la Production Assistée par Ordinateur), etc.

1.2.5.2. Evolution des outils XAO

La conception digitale s'est accrue en 1960 avec le besoin croissant d'améliorer le développement de produits mécaniques. Les applications de CAO avaient débuté avec les ébauches 2D pour aboutir à l'intégration avancée et la capture des connaissances. Le déploiement de l'ingénierie digitale 3D a permis une meilleure conception, prise de décision et validation dans le développement du produit.

La CAO est devenue la pratique courante en ingénierie de conception. Dans l'industrie la CAO fut utilisée lors des phases précoces des projets. Son implication dans les processus de conception est implémentée avec la capacité à modeler le produit, le simuler, le fabriquer et même de concevoir des « usines numériques » (digital plants)

Aujourd'hui, l'utilisation accrue des logiciels de conception a permis l'introduction de modèles digitaux de produits autorisant ainsi la création de « pôles » de conception et la spécification à l'avance de l'espace et des interfaces nécessaires au modèle définitif.

Les technologies assistées par ordinateur (XAO) sont maintenant utilisées dans la plupart des activités de développement de produit et sont très répandues dans l'industrie. On les retrouve aussi bien dans les outils de conception (CAO) que dans les outils de simulation pour le prétraitement des données (création de modèles à éléments finis, ajout de paramètres de simulation tels que la charge, les conditions aux limites...) et le post-traitement (par l'affichage des résultats de la simulation). Ils sont très utilisés également en fabrication (CFAO) pour guider la fabrication des composants des produits. Leur principal objectif est de permettre une description la plus réaliste et la plus précise possible du produit à l'aide de sa représentation 3D.

1.2.5.3. La maquette numérique

La maquette numérique (en anglais DMU : Digital Mock Up) résulte de l'utilisation intensive des technologies XAO. C'est une méthode de technologie 3D virtuelle pour la visualisation du produit à différents stades de son développement. Elle permet aux ingénieurs de construire des assemblages complexes de composant et d'y faire des révisions telles que l'alignement et l'analyse de collisions. Elle utilise la technique de tessellations géométriques pour permettre le déplacement en temps réel des composants, la visualisation et le sectionnement 3D dynamique des produits [Ngu 06].

La DMU est la représentation virtuelle du produit durant tout le processus de développement. Sa définition évolue avec les affinements et le développement de modules du produit. La Figure 3 montre l'évolution d'une DMU depuis une représentation 2D à un modèle 3D, modifié ensuite au cours des étapes de conception détaillée, de préparation à la fabrication et de mise en service. La DMU permet aussi la conception en contexte (design in context). La conception en contexte caractérise la façon de concevoir un module en tenant compte de son environnement voisin et de contraintes.

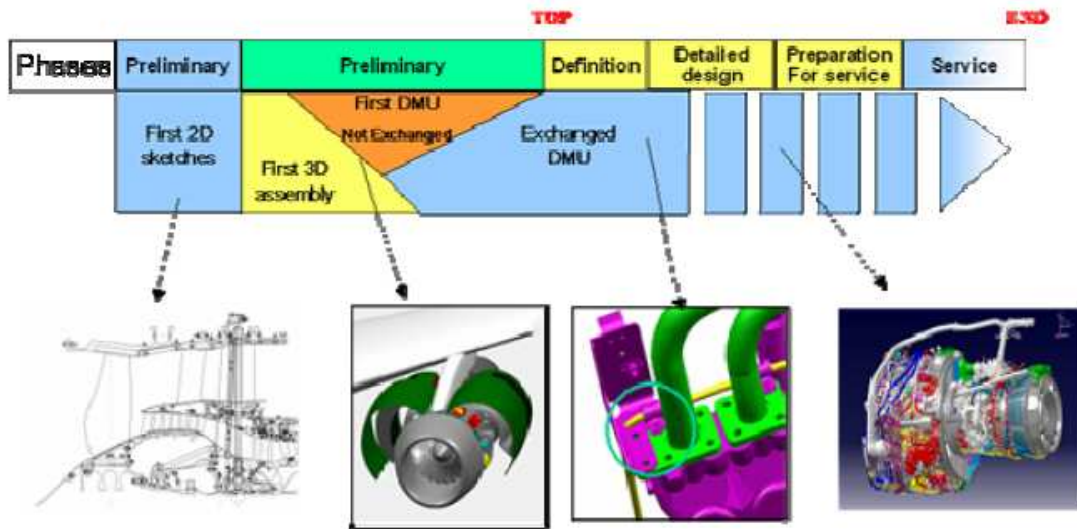


Figure 3 - Exemple de maquette numérique (DMU) [Ngu 06]

1.3. L'infographie au service de la CAO

1.3.1 L'infographie

Par infographie, on entend l'ensemble des sujets et techniques liés à la génération, la représentation et la manipulation de quantités numériques pouvant s'interpréter graphiquement. Ce domaine regroupe l'informatique, la géométrie et les méthodes numériques. On peut classer les sujets du traitement graphique par ordinateur en deux catégories:

- i) la génération d'images et de dessins,
- ii) l'analyse d'images et la reconnaissance d'images.

Dans la dernière catégorie, on essaie essentiellement de reproduire de façon artificielle le sens de la vue avec une certaine forme d'intelligence. A titre d'exemple, on pourrait placer dans cette catégorie des problèmes de reconnaissance de signatures ou bien d'identification d'objets à partir de photographies ou de dessins.

La première catégorie est la plus simple et consiste à produire des images ou dessins d'objets. Ceci inclut également la production de dessins ainsi que la simulation dans le temps de scènes simples.

Dans la mesure où dans la CAO, on utilise la communication graphique comme moyen privilégié pour la transmission d'idées et d'informations, l'apport de l'infographie dans ce contexte est indéniable, et concernera essentiellement le domaine de la génération d'images, c'est-à-dire la première catégorie.

Dans ce sens, il s'agit d'abord d'automatiser le travail accompli traditionnellement par un dessinateur, ensuite de faciliter les divers aspects du travail de l'ingénieur en lui permettant d'exprimer et de communiquer graphiquement les données

L'infographie est cette spécialité du domaine de l'informatique concernant le développement de logiciels pour la production d'images par ordinateur. Le graphisme par ordinateur se situe à un niveau moins spécialisé et concerne l'utilisation de ces logiciels pour la création, la manipulation et la production d'images par des usagers. Finalement, la CAO allie ces deux sujets avec les disciplines du génie pour assister l'ingénieur dans son travail.

Pour illustrer cela, examinons les étapes dans cette démarche. En premier lieu, on identifie le procédé de modélisation par lequel un phénomène donné, par le moyen de quelques hypothèses simplificatrices, est remplacé par un modèle. Celui-ci est alors traduit ou mis sous forme d'équations. Généralement, et ceci dans une proportion à la hausse, cette étape se fait numériquement où les équations sont à leur tour remplacées par un système d'équations approchées. La solution est alors obtenue sous forme numérique, c'est-à-dire comme un ensemble de valeurs discrètes. Jusqu'à très récemment, la tâche de restaurer la solution sous une forme s'apparentant au problème initial se faisait manuellement. Typiquement, l'ingénieur décode cette solution et, dans un cadre de conventions établies, interprète les valeurs numériques pour reconstituer une image de la solution.

Par exemple, on illustre la distribution de température ou bien la répartition de la concentration d'un polluant dans une rivière. Dans d'autres domaines, il s'agit de représenter le champ des lignes de courant ou des contraintes dans une pièce mécanique soumise à des efforts. Également, dans la préparation d'un problème d'éléments finis assez complexe, l'utilisateur doit avant de résoudre le système d'équations numériques vérifier visuellement la disposition des éléments. On note que dans l'expression communication graphique, on entend aussi bien des objets concrets tels que des pièces mécaniques que des objets abstraits tels que des champs, des fonctions ou des schémas.

Dans le cadre de ce travail, nous nous sommes intéressés à l'infographie en tant qu'outil de modélisation des pièces mécaniques. Pour ce faire, on utilise principalement une branche spécifique de l'infographie : la modélisation de solide

1.3.2. La modélisation solide

1.3.2.1. Rôle de la modélisation solide

Un modèle solide est une représentation informatique non ambiguë d'un objet solide physique. Initialement, la modélisation solide avait pour but de fournir aux environnements d'ingénierie un ensemble d'outils automatiques permettant de:

- Concevoir des produits,
- Évaluer leur fabrication, leur facilité d'assemblage,
- Générer toutes les informations nécessaires à leur production.

La nécessité de manipuler graphiquement des objets a rapidement conduit à se poser le problème de leur représentation en machine. Les modèles géométriques utilisés se classent en plusieurs catégories :

- on trouve initialement les modèles bidimensionnels (2D) qui ont une connaissance des objets limitée à des vues planes, sans relations entre ces vues. Ce type de modèles représentait les informations stockées dans les plans de dessin industriel.
- Ensuite, viennent les modèles tri-dimensionnels (3D) dont les trois principales classes sont: les modèles fil de fer (Wireframe), où un objet est connu par ses sommets et les arêtes qui joignent ces sommets; les modèles surfaciques, où les surfaces d'un objet sont parfaitement connues, mais pas la matière et enfin les modèles solides, où les objets sont parfaitement définis par leur peau et leur intérieur [Teh 99].
- Enfin, les modèles multi-dimensionnels (nD) qui représentent un mélange d'objets appartenant à plusieurs dimensions.

On peut considérer que les modèles de fil de fer sont aujourd'hui abandonnés. En revanche, les modèles de surfaces et de solides sont largement utilisés dans l'industrie.

1.3.2.2. Principes de la modélisation solide classique

On peut distinguer que les modèles solides les plus couramment utilisés en CAO sont les suivants:

1) La décomposition spatiale

Les décompositions régulières approximent un solide par un ensemble disjoint de primitives volumiques. Ces primitives peuvent être des cubes de même taille, ou des cubes de tailles différentes (comme les octrees).

2) Modèle par les frontières (BREP)

C'est une représentation d'objets par leur frontière topologique en décomposant la frontière du solide en un ensemble de faces, où chaque face est représentée par une surface délimitée par des arêtes. Les arêtes sont définies dans l'espace paramétrique de la surface comme des morceaux de courbes paramétriques. Bien qu'une simple énumération des faces du solide suffit pour séparer le solide de son complémentaire (l'extérieur), la plupart des schémas B-rep stockent des informations supplémentaires pour faciliter le parcours de la frontière de l'objet et surtout pour répondre aux questions topologiques.

Les données de la frontière d'un solide doivent être augmentées des informations de voisinage et d'orientation pour éviter l'ambiguïté [Bra 75], [Man 82].

Dans ce modèle, le système conserve la "peau" de l'objet et sait, de quel côté est la matière. Un tel modèle contient en général les informations géométriques, des informations topologiques (façon dont sont reliées les informations géométriques). Il suffit ensuite d'orienter le sens de parcours des contours limitant les faces pour distinguer l'intérieur de l'extérieur.

3) Modèle par arbre de construction (CSG)

La représentation par arbre de construction géométrique de solide CSG (Constructive Solid Geometry) cherche à coder et à paramétrer l'historique de construction de l'objet sous forme d'un arbre dont les nœuds sont des opérations ensemblistes et les feuilles des primitives de base [ReV 77], [ReT 78]. Ce modèle est appelé ainsi car il peut être représenté par un arbre. On trouve aux feuilles de l'arbre des objets primitifs paramétrables et aux nœuds des opérations ensemblistes booléennes. A chaque nœud correspond un objet, même si celui-ci n'est pas réellement évalué. En fait plutôt que de parler d'arbre de construction il vaudrait mieux parler de "Conservation Historique de Construction".

Ces modèles sont assez souvent limités aux opérations booléennes et ne prennent pas forcément en compte tout les types d'objets.

4) Modèles Mathématiques

Ils ne sont utilisés que pour les courbes et les surfaces. Les courbes sont en général décrites par "morceaux". Cette définition impose des contraintes, par exemple pour les raccordements. On utilise dans tous les systèmes des représentations sous formes polynomiales. Les trois types de modèles les plus courants dans les systèmes de CAO sont les courbes et surfaces de Bézier, les courbes et surfaces B-spline et enfin les courbes et surfaces NURBS.

Les modèles mathématiques sont intéressants car on peut déduire les propriétés directement du modèle mathématique utilisé.

1.3.2.3. Critiques sur la modélisation solide classique

L'utilisation de la modélisation de solide classique dans le domaine de la CAO s'est avérée inefficace voire insuffisante pour une description claire et complète des pièces mécaniques entre autre, ceci pour plusieurs raisons [Teh 99]:

- **Un gouffre entre la CAO et les applications métier:** Les efforts effectués sur l'automatisation des tâches de conception et de fabrication ont montré qu'il y a un gouffre entre les entités manipulées par la modélisation solide et les entités pertinentes pour la conception et la fabrication, appelées formes caractéristiques. Ces formes caractéristiques sont les briques de base de toute application métier informatisée.
- **Des modeleurs géométriques inadaptés:** Les modeleurs géométriques des logiciels CAO fondés sur la modélisation de solide sont incapables de gérer les problèmes des préparateurs à la fabrication par exemple. En effet, ils souffrent d'un manque d'informations pertinentes pour ces utilisateurs. Les informations stockées sont de trop bas niveau en sémantique et aident peu ces préparateurs dans leurs travaux.
- **Une base de données incomplète :** Les modeleurs géométriques peuvent seulement être utilisés pour définir la géométrie nominale de la pièce. Les informations sur l'état de la surface finie, les tolérances permises, les propriétés du matériau, les conditions de fonctionnement, etc. sont des éléments importants dans la définition d'une pièce, mais ils ne sont pas incorporables utilement dans la base de donnée d'un modeleur de CAO.
- **Un niveau d'abstraction manquant:** Les modeleurs géométriques stockent les données en termes d'entités géométriques de bas niveau telles que sommets, arêtes, et faces, ou arbres binaires avec primitives et opérateurs booléens. Il est donc difficile d'extraire la signification technologique de ces données.
- **Un environnement de conception difficile:** La conception est un processus itératif qui réclame de nombreuses modifications sur le modèle courant avant d'obtenir une solution satisfaisante. Certaines constructions dans la modélisation classique sont très délicates et les modifications correspondantes sont encore plus difficiles.

1.3.2.4. Evolutions de la modélisation solide

Au vu des problèmes évoqués précédemment concernant l'utilisation de la modélisation de solide en CAO, il s'est avéré que ce type de modélisation est insuffisant pour représenter l'ensemble des informations inhérentes à la conception. La solution envisagée pour combler cette insuffisance passe par une actualisation de la modélisation de solide classique afin d'y incorporer en plus des informations géométriques pures, les informations pertinentes pour la conception, ainsi que pour la fabrication, l'usinage... qui sont des tâches étroitement liées dans le processus de développement de produit. On obtient alors ce qui est connu sous le nom de modélisation produit.

1.4. La modélisation produit

1.4.1. Concepts de la modélisation produit

Il devient de plus en plus clair que les systèmes de CAO traditionnels génèrent des descriptions incomplètes des produits industriels du fait qu'ils ne modélisent que la forme du produit. Aujourd'hui, la communauté industrielle porte un intérêt grandissant sur un nouveau type de modélisation appelé « modélisation produit » qui couple la forme et les différentes sémantiques manipulées dans le cycle de vie d'un produit.

L'approche "produit" (Product Modelling) consiste donc à décrire un produit non pas uniquement comme un objet purement géométrique mais aussi en fonction d'un certain nombre de caractéristiques véhiculant :

- Des informations géométriques.
- Des informations technologiques qui donnent une information plus complète sur tout ou une partie d'une forme géométrique.
- Des informations de précision, qui explicitent les tolérances de fabrication par rapport à la forme idéale.
- Des informations matérielles, qui donnent le type de matériau ainsi que ses propriétés.
- Des informations administratives, qui facilitent la gestion du produit etc.

L'objectif de la modélisation produit est d'arriver à stocker dans une structure centralisée de haut niveau, l'ensemble des informations requises exploitable par toutes les applications métier dans les différentes phases du cycle de vie du produit.

Cette structure est une description complète et non ambiguë de la forme, de la fonction et des processus de fabrication du produit. Elle permet ainsi à tout les intervenants dans le cycle de vie de ce produit d'effectuer des raisonnements chacun suivant son contexte.

1.4.2. Vers une modélisation paramétrique de haut niveau

La conception est un processus itératif qui transforme les besoins fonctionnels d'un produit en une représentation informatique du produit fini.

La conception de solides implique l'instanciation des entités primitives manipulées par le modéleur. La spécification directe par l'utilisateur des valeurs numériques des dimensions géométriques, de la position et de l'orientation de ces primitives est très désavantageuse car elles lui imposent une concentration sur des informations de très bas niveau, détournant ainsi son attention de la tâche de conception qui est la sienne.

La plupart des systèmes de CAO actuels fournissent maintenant des outils de construction intelligents permettant de dériver automatiquement les valeurs des paramètres voulus à partir de simples contraintes, telles que tangence, parallélisme, perpendicularité, etc. Editer ou modifier des modèles complexes par leurs entités de bas niveau est une opération très délicate. Le concepteur a donc besoin d'un ensemble de primitives de haut niveau pour la conception et l'édition de cette conception.

1.4.3. Reconnaissance et conception à base de caractéristiques

Afin d'atteindre les objectifs fixés précédemment dans la modélisation produit, un nouveau concept appelé caractéristique de forme ou "Form Feature" a été introduit pour fournir aux différents acteurs du cycle de vie d'un produit un langage adapté à la description de leurs diverses sémantiques. Ces caractéristiques de forme sont définies comme étant des groupements d'entités géométriques dotées d'une sémantique caractéristique à un point de vue métier donné [Bro 01].

Un modèle produit peut être donc vu comme un recouvrement de plusieurs modèles de formes caractéristiques aux divers points de vue intervenant dans le cycle de vie de ce produit, et partageant la même géométrie.

A l'origine, les produits ont été représentés en utilisant les modéleurs géométriques. Afin de rendre ces représentations exploitables par les différentes applications métier, il est nécessaire de les convertir en des représentations à base de formes caractéristiques. Pour obtenir des

représentations de caractéristiques sous forme de modèles, trois approches majeures ont été introduites.

- Reconnaissance et extraction automatiques des caractéristiques
- Conception à base de caractéristiques
- Conversions et transmutation entre modèles de caractéristiques

La première concerne l'extraction et la reconnaissance (souvent automatique) de caractéristiques à partir d'une base de données d'un système de CAO. Cette approche est souvent nécessaire car la forme de ces caractéristiques n'existe pas explicitement dans les modèles et doit être ainsi codifiée d'une façon explicite.

La deuxième concerne la conception par les caractéristiques. Dans ce cas, le concepteur utilise dès le départ des caractéristiques prédéfinies dans une bibliothèque ou définies par une construction assistée à partir des modèles géométriques (souvent dans un environnement graphique interactif).

Aujourd'hui on s'intéresse de plus en plus à intégrer les deux approches précédentes dans un système de modélisation globale avec une définition générique des caractéristiques de forme commune aux deux approches pour créer divers modèles de caractéristiques des différentes vues du produit en permettant d'effectuer des conversions et des transmutions entre ces modèles.

1.4.3.1. Reconnaissance des formes caractéristiques

La description des objets à l'aide de modèles géométriques n'est pas suffisante à leur compréhension automatique, pour leur fabrication par exemple. Cette dernière a besoin d'une interprétation de haut niveau permettant d'exprimer les différentes parties de ces objets sous formes de caractéristiques usinables.

Il s'agit donc de construire une nouvelle base de données de caractéristiques, par détection des propriétés de ces dernières à partir des entités de base du modèle géométrique utilisé.

Les techniques de reconnaissance et d'extraction varient avec le type de modèle géométrique utilisé par le système:

- avec un modèle par limites (B-Rep), on utilise les relations d'adjacence entre face (informations topologiques) et les angles entre ces dernières (et géométriques).
- dans une représentation CSG, on cherchera à restructurer l'arbre CSG de manière à faire apparaître des opérations de différences, souvent assimilables à des enlèvements de matière.
- avec les modèles mathématiques, l'extraction pose des problèmes plus compliqués et la tendance est plutôt d'offrir au concepteur des outils qui lui permettent de modéliser ses propres caractéristiques. On sera donc plutôt dans un contexte de conception par les caractéristiques que dans un contexte de reconnaissance.

a) Méthodes associées aux modèles par limites (B-rep)

Les études les plus nombreuses se rapportent aux modèles par limites, et plus précisément, aux modèles polyédriques.

Une taxinomie non exhaustive des méthodes de reconnaissance des caractéristiques de forme basées sur une modélisation par les frontières B-rep est la suivante :

- **Les méthodes de correspondance de graphes** : (graph matching) : le principe de ces méthodes est de décrire chaque caractéristique (ou feature) par une B-rep propre contenue dans un graphe. On cherche ensuite à faire la correspondance entre ce graphe et un sous graphe du solide, qui décrit une partie de celui-ci sensée être le feature recherché. Ce problème est celui d'un isomorphisme de sous graphe connu pour être NP-complet. Il existe plusieurs variantes de ces méthodes, elles ont en commun les propriétés suivantes :
 - le matching est basé sur un ensemble fini de features
 - difficulté à reconnaître des features de forme plus générale
 - difficulté à reconnaître des features qui s'intersectent
 - parfois ces méthodes ne parviennent pas à une partition unique des features reconnus
- **Les méthodes heuristiques** basées sur la génération ou l'élimination d'hypothèses pour confirmer ou infirmer la présence d'un certain feature dans un graphe, en s'appuyant sur certaines caractéristiques des B-reps et en utilisant notamment des méthodes probabilistes.
- **Les méthodes basées sur les techniques de l'IA** : la reconnaissance se fait à l'aide d'un ensemble de règles définissant les features et d'un moteur d'inférence comme outil de recherche et de reconnaissance.
- **Les méthodes basées sur le parsing** à partir de graphes de grammaires : elles sont plus facilement formulées mais il n'en existe pas qui parviennent à faire la reconnaissance de features à forme générale.
- **Les méthodes basées sur les décompositions volumiques** : les features à reconnaître ont des particularités volumiques identifiables, c'est ainsi qu'on est en mesure de les reconnaître par exemple, un creux peut être détecté en faisant la différence entre la bordure qui délimite le périmètre du solide et une bordure englobante qui est sa couverture convexe (convex hull).

Toutes ces méthodes présentent des avantages et des inconvénients et sont caractérisées par leur temps d'exécution qui va du polynomial (en fonction du nombre de faces et d'arêtes) à l'exponentiel.

b) Méthodes associées aux modèles de géométrie constructive de solide (CSG)

Les travaux dans ce cas cherchent à restructurer l'arbre CSG, dans une organisation reflétant les méthodes de fabrication, autrement dit en insérant autant d'opérateurs de différence que possible.

Lee et Fu [Lee 87] proposent une méthode composée de trois étapes: elle commence par associer à chaque volume primitif un ou plusieurs segments orientés, appelés axes principaux, significatifs de sa taille et de son orientation. Ensuite, elle déduit des positions relatives de ses axes la nature et les attributs géométriques des caractéristiques.

Dans une deuxième étape, elle rassemble dans un sous-arbre unique les noeuds intervenants dans la caractéristique. Enfin, elle introduit dans ce sous-arbre des excès de matière dans des opérations de soustraction.

Cette technique semble difficilement généralisable du fait que les calculs à mener sur les axes principaux se compliquent dès qu'il s'agit de détecter d'autres caractéristiques (poche, marche, anse, trous, ...).

Une autre technique proposée par [Per 94] a pour objectif de transformer l'arbre CSG en un arbre DSG (Destructive Solid Geometry), arbre ne contenant que des différences, de telle

sorte que la feuille la plus à gauche correspond au brut et que chaque sous arbre droit se réduise à une primitive décrivant un excès de matière. Les enlèvements successifs de tous ces excès au brut modélisent les opérations d'usinage aboutissant à la pièce. Pour aboutir à la représentation DSG, les auteurs associent à chaque primitive une boîte englobante (décrivant un brut relatif) et le complémentaire de la primitive par rapport à l'englobant (décrivant l'excès de matière). Cette méthode constitue un bon moyen d'entrée pour les machines à commandes numériques, mais nécessite la gestion de tous les cas d'intersection entre les blocs.

Evaluation des approches de reconnaissance

D'après l'état de l'art dans le domaine de la reconnaissance des caractéristiques de forme, présenté précédemment, on peut noter que les techniques de reconnaissance de caractéristiques de forme utilisent plus une représentation B-Rep qu'une représentation CSG. En effet, dans une B-rep on a des informations très détaillées sur la forme de la pièce traitée. Ces informations sont utilisées par le processus de reconnaissance pour détecter des configurations de forme de niveau plus élevé, les caractéristiques de forme, ayant plus de signification pour les processus de fabrication que les entités de base.

Par ailleurs, nous remarquons que malgré la diversité des techniques utilisées par les approches de reconnaissance, elles suivent toutes trois étapes essentielles: définition des caractéristiques de forme (sous forme de sous graphes, de règles syntaxiques ou logiques), définition du mécanisme de reconnaissance (appariement de sous graphe, analyse syntaxique, moteur d'inférence, ...) et enfin classification des caractéristiques.

Néanmoins, elles souffrent presque toutes de trois types de problèmes :

- Les interactions des caractéristiques de formes: En effet, quand les caractéristiques de formes s'interceptent, il y a perturbation, voire même une destruction mutuelles de la structure des caractéristiques de forme. Ainsi, les structures ou les configurations des caractéristiques de forme interagissantes deviennent inconnues et non identifiables par les systèmes de reconnaissance, soit parce que les structures des caractéristiques ont perdues des éléments constitutifs (faces ou arêtes) ou parce qu'elles en ont eu de nouveaux. Quelques travaux ont essayé de résoudre ce type de problème pour une classe de caractéristiques d'usinage en reconstruisant les parties détruites par les interactions en utilisant des heuristiques pour quelques cas d'interaction.
- La multiplicité des interprétations pour une seule vue: En effet, même pour un seul point de vue, il existe plusieurs interprétations de la pièce en termes de caractéristiques de forme. Quelques travaux ont essayé de retrouver toutes les interprétations possibles de la pièce pour le point de vue usinage mais ils se sont confrontés à des problèmes combinatoires. Par ailleurs, d'autres ont essayé de fournir la meilleure interprétation et de donner la possibilité d'avoir d'autres interprétations à partir de cette dernière.
- La multiplicité des interprétations pour plusieurs vues: Les approches de reconnaissance citées précédemment ont été essentiellement appliquées à des pièces propres au point de vue de l'usinage. Cependant, les mêmes caractéristiques de forme manipulées peuvent avoir d'autres significations pour d'autres points de vues de fabrication, ou peuvent avoir des éléments constitutifs appartenant à d'autres caractéristiques pour d'autres points de vue. Ainsi, ces approches sont très spécifiques au point de vue de l'usinage et sont difficilement extensibles à d'autres contextes de fabrication. L'étude du problème de l'extensibilité de la reconnaissance des caractéristiques pour d'autres points de vue de fabrication doit passer par une définition du nouveau rôle de la reconnaissance des

caractéristiques comme un moyen de conversion entre plusieurs contextes en offrant une grande liberté aux utilisateurs des différents contextes.

(pour une étude exhaustive de ces méthodes se référer à [Teh 99] et [Bou 00]).

1.4.3.2. Conception par les caractéristiques

Dans l'approche de conception par caractéristiques, les pièces sont créées en manipulant des caractéristiques de forme paramétrées, stockées dans une bibliothèque ou définies interactivement par l'utilisateur. Ces caractéristiques peuvent être génériques et globales ou spécifiques à des contextes d'applications.

Dans les deux cas le concepteur aura à instancier ces formes par affectation des valeurs aux paramètres de ces formes et de les positionner dans la pièce.

Les systèmes de conception à base de caractéristiques peuvent être classés en deux classes: ceux manipulant uniquement des caractéristiques de formes spécifiques à une application donnée et ceux manipulant des caractéristiques de formes génériques et globales.

a) Conception par les caractéristiques de l'usinage

Cette approche est apparue comme une réaction à l'approche de reconnaissance des caractéristiques de l'usinage à partir d'un modèle solide. En effet, dans cette approche le concepteur est forcé de définir une pièce en utilisant un ensemble de caractéristiques associées à un processus de fabrication spécifique (souvent l'usinage), d'où le nom de conception pour la fabrication (DFM : Design for Manufacturing). Dans ce cas les caractéristiques disponibles au concepteur sont limitées à des caractéristiques négatives simulant des opérations d'enlèvement de matière à un brut initial. Les opérations manipulées par le système sont des différences booléennes entre les caractéristiques de forme et un bloc de base ou le «brut» en terme d'usinage. Dans ce système les plans de conception et de fabrication sont développés simultanément par transformation du brut en objet final à travers une séquence d'opérations d'enlèvement de matière.

Schutz [Sch 94] a développé un système appelé (FINDES) intégrant la conception à la fabrication. Ce système supporte en plus de la conception, la vérification de la fabricabilité des objets créés en générant une représentation qui peut être utilisée par les systèmes de génération de plans de fabrication assistée par ordinateur.

b) Conception avec des caractéristiques de forme génériques

Idéalement, le modèle de conception d'une pièce donnée devrait être spécifié en termes de caractéristiques ayant une sémantique fonctionnelle, mais souvent il est défini en termes de caractéristiques de forme génériques, positives et négatives, définies statiquement dans une bibliothèque ou dynamiquement par l'utilisateur. Plusieurs systèmes basés sur les caractéristiques de forme ont été proposés, aussi bien dans le monde académique que le monde industriel. Ces systèmes à base de caractéristiques ont étendu directement la modélisation à base de CSG en introduisant les concepts de paramétrisation pour spécifier les caractéristiques de forme et de contraintes pour faciliter la mise à jour de leurs modifications. Néanmoins, l'utilisation des contraintes est restreinte et n'est pas généralement prise en compte. La différence primordiale entre ces systèmes et les modélisateurs solide c'est qu'ils ont éliminé une des carences présentes dans les systèmes de modélisation classiques, en exprimant convenablement les intentions du concepteur sous forme d'un vocabulaire de caractéristiques de forme plus riche en sémantique et en intégrant des détails pertinents et utiles pour la fabrication tels que les tolérances, l'état de finition de la surface et les conditions matérielles qui donnent des informations supplémentaires pour la fabrication des

caractéristiques de forme. Néanmoins, plusieurs problèmes classiques dans la modélisation solide ne sont pas encore traités dans ces nouveaux systèmes [Teh 99].

Evaluation des approches de conception

Initialement la conception à base de caractéristiques avait pour but de générer des modèles de caractéristiques pour un seul point de vue souvent l'usinage. Cependant, on s'est très vite aperçu de l'insuffisance d'une telle démarche du fait que la définition d'un produit nécessite plusieurs points de vue complémentaires, de la phase de conception à la phase de réalisation. En effet, les nouveaux contextes d'ingénierie impliquent plusieurs acteurs différents dans la définition d'un produit, chaque acteur apportant sa propre sémantique. Une approche améliorée et tenant compte de ces aspects consiste à fournir un environnement de conception multi vues autour d'une géométrie commune où chaque sémantique peut être définie en termes de caractéristiques forme.

Certes la conception classique à base de caractéristiques génériques ou spécifiques offre divers avantages à l'utilisateur, notamment:

- Le concepteur interagit avec un système qui offre une sémantique représentant les éléments de conception et de fabrication.
- La géométrie qui lui est reliée est définie à un plus haut niveau, ce qui permet d'éliminer l'interaction avec la géométrie de bas niveau, et donc de réduire la possibilité de l'erreur.
- Le modèle de caractéristiques de l'objet contient simultanément la description géométrique et technologique.
- Des bibliothèques standards de caractéristiques peuvent être utilisées pour construire l'objet.
- Les intentions du concepteur sont décrites par la représentation globale de l'objet.

Néanmoins, la conception à base de caractéristiques souffre encore de plusieurs problèmes:

- Dans la majorité des cas, les caractéristiques les plus naturelles pour la phase de conception ne sont pas des caractéristiques de fabrication. Les caractéristiques de conception sont plutôt définies comme des portions de forme représentant des fonctionnalités de la pièce. Ainsi le modèle généré à cette phase, basé sur des caractéristiques de conception, ne peut pas être utilisé par les autres phases du cycle de vie mais il doit être converti en un autre modèle basé sur les caractéristiques du point de vue choisi. Chacun de ces différents domaines nécessite sa propre interprétation, voire sa propre vue en termes de caractéristiques; ainsi la conception doit être interprétée différemment pour les différents domaines du cycle de vie.
- Les interactions des caractéristiques causent des problèmes dans leur spécification et leur validation dans un système de modélisation. En effet, les caractéristiques peuvent interagir en créant des caractéristiques inattendues et non reconnues, ce qui nécessite leur reconnaissance. Par ailleurs, la gestion de la cohérence des caractéristiques pendant l'évolution de la conception reste aussi un problème difficile à gérer.

1.4.3.3. Conception et Reconnaissance: une approche hybride

Les deux approches précédentes ont été souvent utilisées pour générer des modèles de caractéristiques spécifiques à un contexte d'application donné, ce qui les rend inadéquates pour les nouveaux contextes d'ingénierie qui manipulent simultanément diverses sémantiques pour un même produit.

L'approche de modélisation la plus flexible et qui peut tenir compte de ces nouveaux contextes est celle permettant à l'utilisateur de manipuler parallèlement les outils de la modélisation solide et de la modélisation à base de caractéristiques, où les caractéristiques peuvent être stockées dans une bibliothèque ou reconnues à partir du modèle solide.

Laakko et Mantyla ont développé un système dans cette optique [Laa 93]. L'utilisateur a la possibilité de concevoir interactivement en opérant sur le modèle de caractéristiques ou le modèle géométrique. La mise à jour des deux modèles est assurée par le système en utilisant une reconnaissance incrémentale des caractéristiques. Celle-ci convertit toutes les modifications du modèle solide en opérations d'ajout de caractéristiques au modèle de caractéristiques de l'objet. D'autre part le concepteur peut modifier le modèle de caractéristiques en désignant la caractéristique sur le modèle géométrique. Ses modifications sont faites à travers une interface qui permet l'affichage des attributs et des paramètres de la caractéristique sélectionnée. Après chaque modification des mises à jours sur le modèle géométriques sont opérées pour assurer la cohérence de celui-ci.

1.4.3.4. Conversion de modèles de caractéristiques

La conversion de modèles de caractéristiques est nécessaire pour assurer une communication efficace entre les différentes applications participant à l'élaboration d'un modèle produit. Chaque application a son propre ensemble de caractéristiques qui représente sa propre vue du produit. Les applications peuvent correspondre aux différentes phases du cycle de vie d'un produit : conception, préparation à la fabrication, usinage, moulage etc.

J. Shah et son groupe ont proposé un système de "mapping" de caractéristiques pour transformer la base de données de conception en une autre base spécifique à une application donnée. Le système ne sélectionne que les informations pertinentes pour l'application à partir de la base initiale et les transforme conformément au point de vue de l'application [Sha 88a], [Sha 88b], [SBH 88] et [ShB 88]. Ce système suppose que toutes les caractéristiques de forme manipulées dans la base de conception sont aussi connues par l'application, mais ce qui n'est pas connu c'est leur combinaison sous forme d'un modèle spécifique à l'application. Quand un nouveau modèle de caractéristiques est généré, les caractéristiques de conception peuvent être utilisées ou ne pas être utilisées dans la forme où elles apparaissent. Une caractéristique de conception peut être combinée avec d'autres caractéristiques ou utilisée pour définir de nouvelles caractéristiques qui dépendent de l'application. Ces caractéristiques de conception peuvent être aussi décomposées en caractéristiques de niveau inférieur. Le mapping proposé peut simplement réarranger les éléments des caractéristiques de conception pour générer ensuite un nouvel ensemble de caractéristiques spécifiques à une application donnée.

La globalité des approches de conversion présentées manque de généralisation pour les autres points de vue du cycle de vie d'un produit. En effet, comme pour les approches de reconnaissance, le but est de convertir les caractéristiques de conception en caractéristiques de l'usinage. Ainsi nous pouvons dire que c'est une autre reconnaissance mais qui analyse plutôt un modèle de conception qu'un modèle solide. En outre, peu d'approches ont exploité le reste des informations présentes dans un modèle de conception.

Par ailleurs, les nouveaux environnements d'ingénierie simultanée exigent une coexistence réelle de plusieurs acteurs avec différentes sémantiques pour la définition d'un produit. Chacun de ces acteurs a sa propre vue du produit. Ces environnements nécessitent des outils génériques pour assurer la communication de la sémantique entre les différentes vues des acteurs.

1.4.4. Rôle des caractéristiques dans la modélisation produit

Afin de mieux répondre aux nouvelles perspectives de conception, nécessitant des environnements d'ingénierie simultanée, des systèmes basés sur une intégration des approches précédentes sont développés. Ils permettent la génération des descriptions de produits en utilisant les caractéristiques de forme et les primitives géométriques conjointement avec des

informations métier (de nature non géométriques), et facilitent la création de taxinomies de caractéristiques orientées applications, ainsi que la conversion entre les différents contextes d'applications.

Les caractéristiques peuvent jouer un rôle essentiel dans l'intégration de la conception avec les différentes applications métiers intervenant dans le cycle de vie d'un produit.

Ce type de modèle peut être vu comme étant un modèle multi facettes où chaque facette représente une vue d'un métier intervenant dans la définition du produit. Ceci permet de généraliser la notion de feature depuis un concept purement géométrique à un concept générique dont la sémantique dépend du contexte d'utilisation.

1.5. Conclusion

A l'issue de cette étude, il paraît évident que la modélisation des produits industriels issus de la CAO et des disciplines de XAO, est mieux illustrée en terme de caractéristiques de formes qu'en terme de modélisation de solide classique. Par ailleurs, les entreprises manufacturières concernées par le développement de produit sont soumises à des contraintes économiques telles que les activités de développement coexistent de façon simultanée. Elles se caractérisent par l'existence de plusieurs acteurs et d'une quantité importante d'informations de différentes natures, types et formats caractéristiques des activités qui s'y déroulent. Un des problèmes les plus importants auxquels ces entreprises doivent faire face est l'intégration des informations des différents métiers, en vue d'assurer une bonne circulation des données et un échange efficace entre les différents acteurs. Ce problème se pose aussi bien pour les données géométriques de modèles de CAO et de CFAO que pour les autres données du produit manufacturé tout au long de son cycle de vie. Les features sont alors entrevus comme un mécanisme d'intégration des applications apparaissant dans les différentes phases de développement du produit. Ces préoccupations sont au cœur de la problématique de ce travail qui sera explicitée dans le chapitre suivant.

Chapitre 2 : De la modélisation produit au PLM

2.1. Introduction

Le chapitre 1 avait pour objectif d'étudier le rôle de l'infographie via la modélisation de solide dans les activités de conception de produits industriels dans les disciplines de CAO et de XAO en général. La modélisation de solide s'est avérée insuffisante dans ce contexte du fait qu'elle ne s'intéresse qu'à la géométrie du produit. Or, la complexité des produits industriels va bien au-delà de la simple description de la géométrie. C'est pourquoi, la modélisation de solide a été remplacée par la modélisation dite de produit qui véhicule des informations dont la sémantique est plus riche et plus pertinente pour les diverses applications métiers qui manipulent le produit durant tout son cycle de vie. La modélisation de produit est basée sur le concept de caractéristique ou features qui est une entité géométrique représentant une partie de la pièce ou du produit à laquelle est rattachée une sémantique spécifique à un contexte d'ingénierie précis. Le modèle de produit peut être interprété comme une accumulation logique de toutes les informations qui sont en rapport avec le produit durant tout son cycle de vie. La modélisation de produits sur leur cycle de vie interpelle plusieurs domaines : mécanique, informatique, automatique, productique etc., caractérisées par l'existence de plusieurs acteurs et d'une quantité importante d'informations de différentes natures, types et formats caractéristiques des activités qui s'y déroulent. Ces environnements sont typiques de l'entreprise étendue et l'un des plus grands problèmes auxquels ils sont confrontés est l'intégration des informations des différents métiers, en vue d'assurer une bonne circulation des données et un échange efficace entre les différents acteurs. L'identification de ces problèmes très critiques nous a permis d'orienter notre contribution dans ce travail vers l'étude et la proposition de solutions à ces problèmes. C'est ainsi que nous verrons la modélisation produit basée sur le concept général de feature comme une solution possible au problème d'intégration. Nous nous proposons d'approfondir cet aspect et nous explorons d'autres solutions possibles dans le chapitre 4.

Ce chapitre est structuré de la manière suivante : dans le second paragraphe, nous décrivons la notion de modèle produit autour de laquelle sont centrés la plupart des processus métier et qui est à la base de la modélisation produit. On distingue plusieurs modèles de produit représentant chacun un contexte d'utilisation précis et rattachés à une phase particulière du cycle de vie. Les données utilisées dans tous ces modèles sont nombreuses et très variées. Elles sont plus connues sous le nom de données techniques. L'aspect potentiellement volumineux et hétérogène de ces données a nécessité leur gestion par des systèmes adéquats plus connus sous l'acronyme de SGDT (Systèmes de Gestion des Données Techniques). Nous évoquons les raisons pour lesquelles il est nécessaire de gérer les données du produit durant tout son cycle de vie. Dans le troisième paragraphe, nous identifions deux grandes problématiques liées à ce contexte: le problème de l'intégration des données hétérogènes et celui de l'échange de ces données. Ce qui nous amène dans le quatrième paragraphe à nous interroger sur les mécanismes d'intégration possibles afin d'orienter notre contribution dans ce sens.

2.2. Le modèle de produit

Le déroulement des processus métiers centrés sur le produit fait appel à une multitude de connaissances et d'informations. La structure qui permet d'organiser, de collecter et de tracer cet ensemble de connaissances et d'informations évolutives est appelée modèle de produit. La

littérature distingue plusieurs types de modèles de produit : structurel, géométrique, fonctionnel, par domaine ou métier [Ber 00], [RoT 00], [Den 02a]. Le modèle de produit est la description des différentes facettes du produit à concevoir, à différents niveaux d'abstraction [Har 97]. De ce fait, il n'existe pas un seul modèle de produit, mais plutôt une série de modèles dépendant du contexte d'utilisation. A titre d'exemple, le modèle de produit dédié à la collaboration dans le domaine de conception [Rou 99], [NRT 04] développé au LASMIS de l'Université de Technologie de Troyes, Le modèle de produit défini au sein de l'université de Valenciennes permettant d'unifier les modèles fonctionnel, structurel, technologique et technique [Ben 98], [Jac 98], ainsi que de nombreux autres modèles qui sont proposés comme celui de Vargas [Var 95] qui s'intéresse au processus de modélisation dans sa globalité ou celui d'Eynard [Eyn 99] qui s'attarde sur la conduite et à la traçabilité du processus d'ingénierie.

Le point commun entre tous ces modèles est qu'ils regroupent tous un ensemble de données du produit essentielles à un contexte d'utilisation précis, à une étape de son cycle de vie. La connaissance des données utilisées pour décrire un produit le long de son cycle de vie constitue le préalable indispensable à toute construction de modèle de produit, qu'il soit spécifique ou générique.

Les données utilisées dans le cycle de vie du produit sont nombreuses et très diversifiées. On peut les classer selon plusieurs typologies : données statiques ou dynamiques, éphémères ou durables, techniques ou de gestion administrative etc. Plus généralement, on parle de données techniques.

2.2.1. Les données techniques

Les données techniques de produits sont les données créées par les systèmes informatiques spécifiques des études, de l'ingénierie, de la fabrication, de la gestion des projets, de la gestion de qualité, etc. [EHM 04]. Elles présentent la caractéristique très particulière d'être chacune associée à un outil particulier (exemple : système CAO, FAO, code de calcul éléments finis, etc.) qui, seul, permet d'en interpréter le contenu. Elles sont donc hétérogènes. Parmi plusieurs types de données techniques, on peut citer les données CAO, IAO (Ingénierie Assistée par Ordinateur), GPAO (Gestion de Production Assistée par Ordinateur), GMAO (Gestion de Maintenance Assistée par Ordinateur), etc. Il entre dans cette définition la nomenclature de produit (décomposition itérative d'un produit en composants et assemblages), et de ce point de vue, les données techniques peuvent être définies comme une structure arborescente représentant la composition du produit et servant de support à l'organisation de toutes ses données.

Une donnée technique est toute information qui permet de décrire le produit pendant son cycle de vie et ceci sur la totalité des métiers rencontrés [GDT 06]. Une donnée technique est structurée ou non structurée. Elle est informatique ou papier. Sa connaissance est nécessaire pour :

- Identifier et justifier l'état de configuration du produit
- Reproduire le produit
- Maîtriser l'évolution du produit dans son cycle de vie
- Utiliser et maintenir l'état du produit

Les données techniques servent à gérer et à maîtriser l'évolution du produit dans son cycle de vie à travers l'identification et la définition d'un état de configuration du produit. Une configuration est la déclinaison d'un même produit en fonction de certaines options. Les données techniques ont pour but de capitaliser l'état du produit dans une optique de réutilisation et de traçabilité. Elles sont de nature métier et sont générées par les acteurs des divers processus (concepteur, ingénieur CAO, expert de la simulation, etc.). Pour synthétiser,

les données techniques sont « Tout le patrimoine informationnel d'un produit, de sa conception à sa destruction » [Ran 95].

L'information contenue dans une donnée technique peut être de différentes natures. Elle peut se présenter sous divers formats: fichier texte (version windows 95, 98, 2000, XP...), feuilles de calcul Excel, bases de données Access, document HTML etc. Cette information peut être à des statuts ou des états différents, il est donc nécessaire de gérer ces types et ces états d'informations pendant le cycle de vie du produit. Pour cela, on fait appel à des logiciels spécialisés qui ont pour principale fonction de faire la gestion des données techniques.

2.2.2. La Gestion des Données Techniques

La gestion des données techniques (GDT) désigne suivant l'APFA¹ (Actions pour Promouvoir le Français des Affaires) « une technique mettant en oeuvre un progiciel de gestion intégré et visant à améliorer la gestion et la transmission des informations relatives aux matières premières et aux produits ». En d'autres termes, la Gestion de Données Techniques est un ensemble organisationnel qui permet de contrôler la création, la diffusion, l'utilisation et l'évolution du patrimoine formel de définition du produit, c'est à dire l'ensemble des données et informations qui définissent comment le produit est spécifié, conçu, fabriqué et utilisé [Mau 93], [Tol 99].

2.2.3. Les systèmes de gestion de données techniques

Les Systèmes de Gestion des Données Techniques SGDT permettaient initialement de structurer les données d'ingénierie. Ils offrent désormais une couverture importante des différents processus de l'entreprise. Nés au milieu des années 80 pour répondre au problème de contrôle des mises à jour des modèles CAO, les SGDTs ont évolué petit à petit vers une gestion de toutes les références informationnelles d'un produit couvrant l'ensemble de son cycle de vie depuis l'expression des besoins jusqu'au retrait du marché [Eyn 05]. Les Systèmes de Gestion des Données Techniques SGDT sont : « des outils logiciels intégrés permettant de consolider et redistribuer l'ensemble des informations de définition du produit, d'en organiser, gérer et contrôler les accès, les modifications, le partage, le groupement, la sécurité, l'approbation des données techniques, créées sous différents formats et d'assurer l'archivage des données techniques dans un environnement hétérogène et distribué » [Jag 93].

2.2.4. Pourquoi une gestion sur le cycle de vie ?

Les activités et les disciplines qui utilisent le produit sont réparties le long de son cycle de vie et sont interdépendantes, en ce sens que les données utilisées à un stade sont utiles à un stade ultérieur, il est donc plus rentable, voire capital, de garder le patrimoine informationnel du produit et d'y intégrer toutes les composantes à toutes les étapes depuis l'idée de la conception jusqu'à son démantèlement et/ou son recyclage. Ceci va permettre d'avoir une meilleure maîtrise des données produit et de garantir la traçabilité (origine) et la capitalisation de toutes les données. Ce qui aura pour conséquence des gains économiques pour l'entreprise et une plus grande compétitivité résultant d'une meilleure maîtrise de ses produits, à tous les stades de leur vie. Une gestion efficace du produit durant tout son cycle de vie aura pour effet de garantir la bonne maîtrise du développement des produits et la traçabilité de toutes les données associées. A cet effet, il existe une nouvelle technique de gestion orientée cycle de vie : le PLM (Product Lifecycle Management) qui sera étudié en détail dans le chapitre 3.

¹ <http://www.apfa.asso.fr/>

2.3. Problèmes liés à la modélisation cycle de vie du produit

2.3.1. Problèmes d'intégration de données hétérogènes

A l'issue de l'étude du modèle de produit et des données qui le composent, il ressort que la nature fortement hétérogène de ces données et la diversité des applications qui les utilisent rendent très difficile leur échange entre les différents systèmes. Plus concrètement, la nécessité d'échanger des données entre systèmes hétérogènes se heurte à différents problèmes, parmi lesquels :

1. **Diversités de dénomination :** Cette diversité vient du fait que les mêmes concepts peuvent avoir des noms différents dans des bases de données différentes. Ainsi, dans chaque base de données, entités, tables et attributs sont identifiées par des noms. Des noms différents peuvent être utilisés pour désigner le même concept, ou, inversement, des concepts différents peuvent être désignés par le même nom. Ceci constitue le premier frein à l'échange des données de composants entre systèmes hétérogènes.
2. **Diversités de modélisation conceptuelle :** Dans le même domaine, et en supposant que les noms sont identiques, la structure du modèle conceptuel peut changer. Un modèle peut ne pas présenter de spécialisation particulière par rapport aux concepts et aux noms existants dans l'autre système, il peut au contraire avoir donné lieu à spécialisation. De plus, s'il y a spécialisation, on peut s'être basé sur différents critères pour faire la spécialisation. Par exemple, pour une voiture, on peut spécialiser selon l'origine (nationale, étrangère), le type (voiture de course, tout terrain ou touristique), etc. Concernant le choix d'attributs, chaque catégorie d'utilisateur et donc chaque schéma s'intéresse à un sous-ensemble particulier des attributs possibles d'une entité.
3. **Diversités d'implémentation et représentation des données :** Une troisième difficulté pour l'échange de données de composants est celle de la représentation des données. En effet, plusieurs systèmes sont utilisés pour représenter les données d'un domaine particulier. Dans le seul domaine de la CAO, il existe une multitude de formats pour représenter les données, résultant de la multitude d'outils informatiques utilisés et le caractère spécifique de chaque outil qui entraîne une diversité d'implémentation.

Or, Le principe de l'entreprise étendue, qui a émergé ces dernières années, et le développement de la sous-traitance ont donné plus d'importance à l'échange et au partage de données de produits entre les différents partenaires. Un sous-traitant fournit aux donneurs d'ordre non seulement le produit mais également les différents plans et documents décrivant ce produit, le plus souvent dans leur format natif. Généralement, les partenaires n'utilisent pas les mêmes systèmes informatiques pour modéliser leurs données. Chacun choisit celui qui convient le plus à ses activités et à ses intérêts. Dès lors, le problème d'incompatibilité des données issues des différents systèmes est posé.

2.3.2. Problème de l'échanges des données

Nous nous sommes intéressés au problème d'échange de données car il constitue une composante très importante dans la gestion collaborative du produit, imposée par une conjoncture internationale caractérisée par l'émergence du concept d'entreprise étendue c'est à dire de chaînes ou de réseaux industriels étendus reliant le fournisseur de matière première au consommateur final et dont l'un des principes nécessaires d'organisation est l'intérêt mutuel.

La conception, le développement, la fabrication, la commercialisation, la maintenance et le retrait du cycle de vie d'un produit apparaissent donc comme un "projet" coopératif dont l'objectif est avant tout de déclencher une synergie entre partenaires afin d'accroître leur part de marché en réduisant les temps de mise sur le marché des nouveaux produits, en maîtrisant la qualité des produits réalisés ainsi que leurs prix de revient, en intégrant mieux les désirs du client ou de l'utilisateur final, en réagissant aux fluctuations du marché etc. [Cha 05].

C'est ainsi que les entreprises actuelles, sont passées de l'ingénierie séquentielle à l'ingénierie simultanée qui est une approche systématique pour concevoir un produit prenant en considération tous les éléments de son cycle de vie. Cette approche doit permettre aux équipes multidisciplinaires et/ou multi métiers de travailler en parallèle, le plus tôt possible, vers un même but et repose sur le principe de parallélisation des activités des différents processus métier (conception, simulation, prototypage, fabrication, etc.). Cette parallélisation implique de nombreux échanges de données qui servent de base ou de support aux différentes activités du cycle de vie. Ces échanges doivent être parfaitement maîtrisés de façon à favoriser la synergie de l'ensemble des processus métier.

2.4. Quelles solutions au problème d'intégration

La modélisation technologique de produits sur leur cycle de vie interpelle plusieurs domaines. Pouvoir intégrer un ou plusieurs points de vues, afin d'en faciliter l'exploitation experte ou métier est un défi permanent dans le contexte de l'entreprise étendue. De fait, tout ce qui pourrait rendre cette intégration possible est une solution potentielle à ce problème. Ces préoccupations sont au cœur de la problématique de ce travail. Notre première contribution dans ce sens a été illustrée par l'étude de la modélisation produit et des features comme premier mécanisme d'intégration

2.4.1. Les features comme mécanisme d'intégration

De manière générale on peut dire qu'un feature est un ensemble d'entités dont le regroupement a une signification particulière selon un certain point de vue: par exemple, une rainure en fraisage angle de dépouille en moulage, un plan de joint en forgeage, etc.

Une intégration possible par le biais des feature passe obligatoirement par une généralisation de ce concept, qui conduit à dire qu'un feature [Den 02]:

- est une unité d'information (élément) représentant une zone d'intérêt (le sens n'est pas exclusivement géométrique) au sein d'un produit. En conséquence, un feature n'est pas forcément un élément physique.
- est décrit par une agrégation de propriétés du produit. La description contient les propriétés significatives incluant leurs valeurs et leurs relations (structure et contraintes)
- est défini dans le cadre d'un certain point de vue sur le produit, relativement à une classe de propriétés et aux phases du cycle de vie comme illustré par la Figure 4.
- peut être décrit par des propriétés issues de différentes classes de propriétés, permettant ainsi de relier ces propriétés entre elles.

L'objectif poursuivi par l'utilisation des features dans les systèmes de XAO par exemple par ordinateur est multiple :

- formaliser des connaissances sur le produit,
- codifier et mémoriser la signification (la sémantique) d'une zone d'intérêt dans un modèle informatique,
- améliorer la communication entre les activités du cycle de vie,
- favoriser la réutilisation, en mettant en commun les parties identiques entre vues

Nous verrons en détail comment utiliser le mécanisme des features comme outils d'intégration dans le chapitre 4.

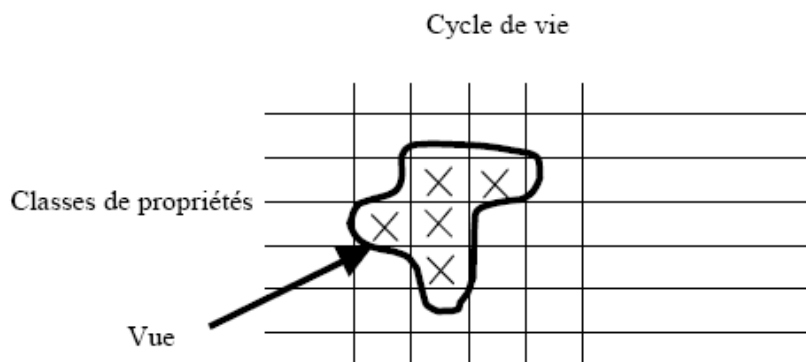


Figure 4 – Un Feature en tant que « vue » sur un produit [Den 02]

2.4.2. D'autres solution possibles

Le mécanisme des feature ne représentant pas la seule façon d'intégrer, il existe d'autres méthodes d'intégration que nous présentons dans la suite de ce mémoire dans le but d'avoir une synthèse plus complète sur l'ensemble des méthodes d'intégration possibles et un comparatif permettant de situer le mécanisme des features. Nous verrons en particulier une approche par les standards et une approche par les ontologies au chapitre 4.

2.5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons décrit le contexte global de ce travail afin d'en clarifier la problématique. Ainsi, nous avons décrit le produit en tant que structure informationnelle de base dans les applications métiers ainsi que différents types de modèles de produit. En analysant de plus près l'information produit, on la détaille sous forme de données techniques rattachées aux diverses applications d'ingénierie. Ces données sont très hétérogènes et nécessitent une gestion très rigoureuse pour être exploitées au mieux dans les différents domaines en particulier dans le contexte de l'entreprise étendue. Un des problèmes les plus importants auxquels ces entreprises doivent faire face est l'intégration des informations des différentes métiers. Ce problème se pose aussi bien pour les données géométriques des modèles de CAO et de CFAO que pour les autres données du produit manufacturé. Pour répondre à ces préoccupations, nous avons orienté notre contribution vers le problème de l'intégration des applications centrées sur le produit. La généralisation de la notion de feature permet d'envisager une telle intégration. D'autre part, en se rendant compte que le produit industriel est un ensemble complexe qui ne peut être appréhendé uniquement par le biais de sa géométrie, nous avons consacré une part importante de ce travail à l'exploration de divers mécanismes d'intégration en plus de celui des features. C'est ainsi que nous étudierons les approches d'intégration par les standards et les approches à base d'ontologies qui seront détaillées dans les chapitres 4 et 5. L'intégration est entrevue pendant tout le cycle de vie du produit : de sa conception par le biais de sa modélisation géométrique à sa fabrication, ce qui explique notre intérêt pour le PLM (Product Lifecycle Management). Ce dernier est apparu comme un des outils les plus adéquats pour la gestion des données du produit durant tout son cycle de vie. On se propose dans le prochain chapitre d'approfondir ces notions en dressant un état de l'art sur le concept de PLM et de cycle de vie produit.

Chapitre 3 : Le PLM et le cycle de vie produit

3.1. Introduction

Ce chapitre dresse un état de l'art sur le concept de PLM et donne une description de ses dimensions prédominantes. Comme le PLM est étroitement rattaché au cycle de vie du produit, la première partie de ce chapitre sera consacrée à l'étude du cycle de vie produit avec les phases importantes qui le composent. Par la suite, différentes propositions de modèles de cycles de vie sont passées en revue, suivies par une description d'un modèle de référence utilisé dans le but d'avoir une compréhension unique de ce concept. Comme le PLM est un phénomène fortement influencé par l'évolution des technologies de l'information et de la communication (TICs), nous nous sommes intéressés à explorer l'influence des TICs sur le cycle de vie et le PLM. La seconde partie de ce chapitre s'intéresse au PLM à travers ses différents aspects, en particulier par l'analyse des problèmes ouverts liés au PLM en soulignant les points qui se rapprochent le plus de notre problématique puis par une description des tendances et marchés actuels du PLM. La conclusion vient souligner la grande complexité du PLM et la quasi impossibilité d'en cerner tous les aspects sans une approche méthodologique d'intégration.

3.2. Le cycle de vie produit

3.2.1. Généralités

De manière générale, le « cycle de vie produit » indique l'ensemble de toutes les phases reconnues comme des étapes plus ou moins indépendantes, poursuivies par le produit depuis l'idée de sa création (sa naissance) jusqu'à son retrait ou son démantèlement (sa mort), telles que : la conceptualisation, la conception, la planification des gammes de fabrication, la production, la distribution, l'utilisation, le démantèlement et parfois le recyclage [Ver 99].

L'analyse de la littérature relative aux différentes phases de développement du produit permet de les classer selon deux points de vue distincts : le point de vue commercial et le point de vue « conceptuel ». De ces deux points de vue, le cycle de vie d'un produit est fortement inspiré du cycle de vie biologique. Par exemple : une graine est plantée (lancement) ; elle commence à germer (croissance) ; des feuilles apparaissent et la plante s'enracine plus en devenant adulte (maturité) ; après une période plus ou moins longue, elle commence à faner et finit par mourir (déclin).

En théorie, la vie d'un produit se déroule de la même manière. Après une période de Recherche et Développement (R&D), il est lancé sur le marché. De plus en plus de clients l'essaient et sa part de marché prend de l'importance. Son marché se stabilise et le produit devient mature. Après une certaine période, le produit est dépassé par le développement et le lancement de meilleurs concurrents, il décline donc et est éventuellement retiré. Il faut savoir que la plupart des produits ne suivent pas ce cycle de façon stricte, certains produits meurent dès la phase de lancement, d'autres connaissent des phases de maturité cyclique où les déclin donnent lieu à des promotions pour récupérer les clients etc.

3.2.2. Les phases du cycle de vie

De façon simplifiée, le cycle de vie d'un produit s'étend de l'idée de sa conception résultat d'une analyse des besoins à son démantèlement/recyclage comme schématisé sur la Figure 5.

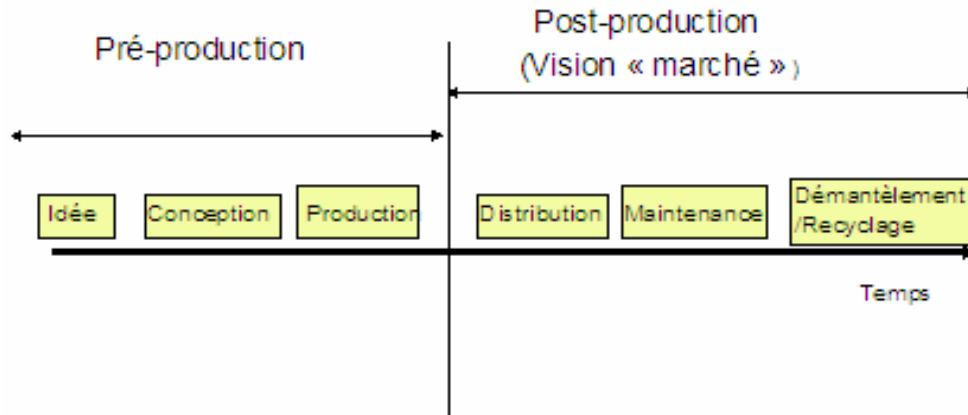


Figure 5 – Principales phases du cycle de vie d'un produit

3.2.2.1. Les phases du cycle de vie en pré-production

Ce sont toutes les phases au début desquelles le produit n'existe pas encore et qui s'achèvent par la production effective de ce dernier. Elles peuvent se résumer à :

- La phase de l'idée du produit : résultat d'une analyse de besoins
- la phase de conception : le produit est conçu pour répondre à une série de besoins, à la fin de cette phase, une solution pour le produit est retenue après l'étude menée durant la phase de conception
- La production : c'est la fabrication effective du produit basée sur le résultat de la conception. A la fin de cette phase, le produit devient disponible sur le marché.

3.2.2.2. Les phases du cycle de vie en post-production

Plusieurs variantes du modèle de cycle de vie de produit dans le domaine industriel ont été proposées pour prendre en compte le développement du produit, dans le marché et/ou dans l'industrie. Bien que les modèles décrivent le même cycle de vie, ils diffèrent quant au nombre et au nom des phases. Voici une liste de quelques principaux modèles :

- 1973 : le modèle de Fox : comporte les phases suivantes : pré commercialisation, introduction, croissance, maturité, déclin
- 1974 : le modèle de Wasson : comporte les phases suivantes: développement du marché, croissance rapide, turbulences concurrentielles, saturation/maturité, déclin.
- 1984 : le modèle d'Anderson et Zeithami : comporte les phases suivantes : introduction, croissance, maturité, déclin
- 1998 : Le modèle de Hill et Jones : comporte les phases suivantes : croissance, déploiement embryonnaire, maturité, déclin.

Mais d'une manière générale, les différents modèles s'accordent tous sur quatre phases principales, illustrées sur la Figure 6, à savoir:

- l'introduction
- la croissance
- la maturité
- le déclin.

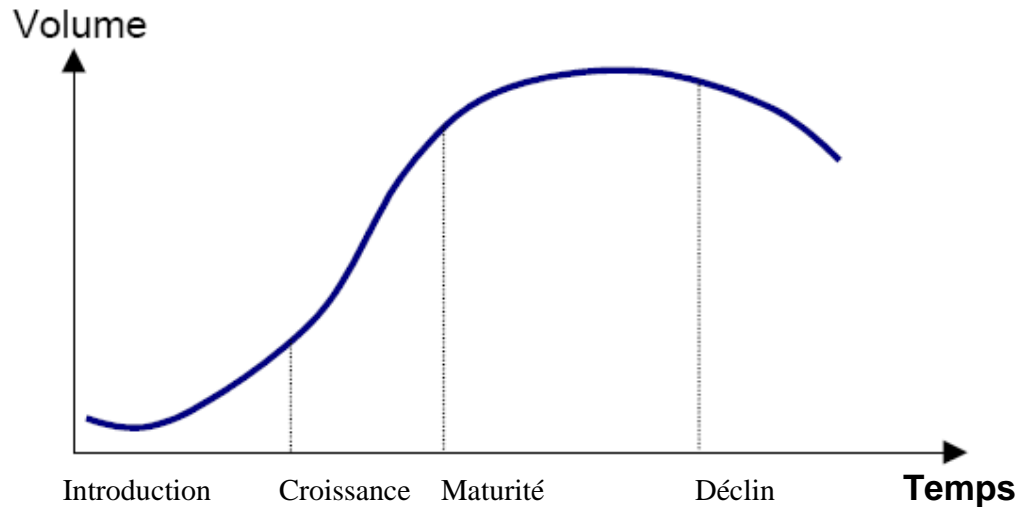


Figure 6 - Phases du cycle de vie produit en post-production

1) La phase d'introduction ou de lancement

L'entreprise lance sur le marché un nouveau produit. Les ventes sont encore faibles et les profits négatifs en raison des dépenses engagés pour accompagner le lancement et les coûts élevés. A ce stade, l'acheteur est le consommateur innovateur et l'entreprise a souvent une situation de monopole. Les prix sont généralement élevés.

2) La phase de croissance

Lors de cette phase, la demande est en pleine croissance et les concurrents imitant la technologie ou le produit arrivent sur le marché. Les prix ont tendance à diminuer mais restent encore assez élevés. Les investissements de recherche et développement portent déjà sur l'adaptation du produit.

3) La phase de maturité

Les ventes croissent de plus en plus lentement et atteignent leur maximum. La concurrence augmente et, sous la pression, l'entreprise qui cherche à maintenir ses parts de marché doit diminuer ses prix de vente. Elle mise sur une promotion et une publicité intenses et sur une réduction des coûts de production. C'est le moment où l'entreprise doit se remettre en cause et investir dans une relance du produit (par améliorations techniques, modifications de packaging, suggestions d'utilisations nouvelles).

4) La phase de déclin

La production diminue face à une demande en régression et à une concurrence féroce. L'entreprise réduit fortement les investissements en recherche et développement et en communication pour ce produit. Le prix de vente est encore en baisse et les marges très faibles.

Les stratégies marketing des différentes phases et leurs relations avec les différentes dimensions commerciales (telles que le coût, le gain, le marketing...) ont été étudiées par plusieurs auteurs [OnS 98]. Ces relations, connues et bien établies dans l'industrie, sont résumées dans le Tableau 1.

Tableau 1 - Dimensions commerciales et phases du cycle de vie produit

Dimensions	Phases du cycle de vie			
	<i>Introduction</i>	<i>Croissance</i>	<i>Maturité</i>	<i>Déclin</i>
<i>Ventes</i>	Faibles	En nette croissance	Pic maximal	En déclin
<i>Coûts pour le client</i>	Elevés	Moyens	Faibles	Faibles
<i>Gains pour l'entreprise</i>	Négatifs	En croissance	Elevés	En déclin
<i>Nombre de Concurrents</i>	Faible	En augmentation	Uniforme, commence à diminuer	En diminution
<i>Clients(type et nombre)</i>	Innovateurs	Premiers utilisateurs	Majorité	Nombre en recul
<i>Le marché, la demande</i>	Inexistant, à créer	Très forte croissance	La demande est composée surtout par le besoin de renouvellement	Demande décroissante
<i>Objectifs marketing</i>	Faire connaître le produit	Maximisation des parts de marché	Maximisation des profits et des parts de marché	Réduction des dépenses

3.2.3. Intérêt de l'analyse du cycle de vie

L'analyse du cycle de vie des produits cherche à localiser en particulier à quel stade se situe chaque produit de l'entreprise. Ceci permet d'établir des priorités pour la stratégie de développement de produits afin de réaliser une croissance continue du chiffre d'affaires. La représentation du cycle de vie estimé de tous les produits de l'entreprise dans un même diagramme donne un aperçu de sa situation et permet de formuler une réponse aux questions stratégiques suivantes :

- Quels produits doivent être remplacés et de combien de temps dispose-t-on pour la conception ?
- Quel sera le niveau d'innovation du processus de développement ? Un nouveau produit (temps de conception long, nouveau cycle de vie) ou un redesign (temps de conception court, prolongation du cycle de vie actuel) ?
- Faut-il intervenir pour prolonger la vente d'un produit (par un redesign) en attendant l'introduction d'un nouveau produit ?

La situation représentée sur la Figure 7 (a) peut ainsi être améliorée pour aboutir à la situation de la Figure 7 (b).

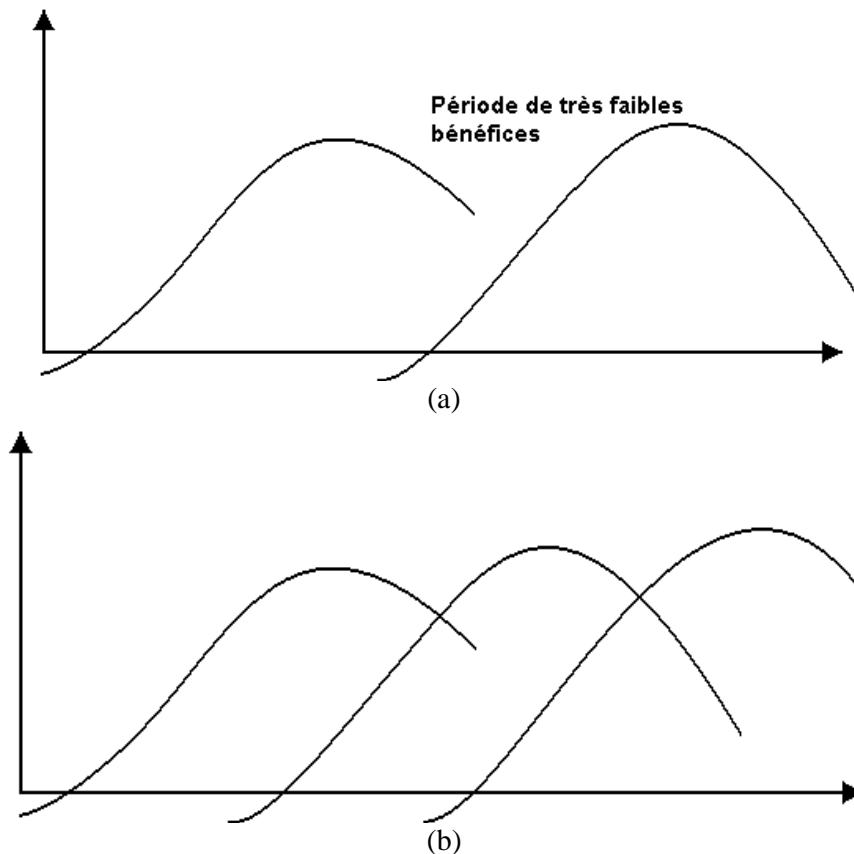


Figure 7 – Intérêt de l'analyse du cycle de vie produit

La théorie du cycle de vie du produit appropriée aux produits technologiques, peut aider l'entreprise à déterminer entre autres si son produit est exportable ou non sur un autre marché, en fonction du stade auquel il se trouve sur le marché étranger visé.

Par exemple, une entreprise dont le produit est en fin de cycle de vie sur son marché domestique avec des débouchés insuffisants et des ventes décroissantes se trouve face à deux alternatives :

- abandonner le produit ;
- exporter ce produit – après éventuellement adaptations – sur un marché où il se trouve en phase de croissance ou de maturité. Ce faisant, l'entreprise peut allonger la durée de vie et la phase de rentabilité de son produit et continuer à amortir les investissements liés à la conception du produit. Les frais de lancement du produit sur le marché export seront couverts par la trésorerie obtenue sur le marché domestique en phases de développement ou de maturité.

Avec le contexte de mondialisation actuel caractérisé par une concurrence accrue, les cycles de vie des produits ont tendance à se raccourcir de plus en plus. Ceci implique que l'introduction de nouveaux produits et leur rentabilisation doivent être réalisées de plus en plus rapidement. Afin de pouvoir survivre à cette concurrence et s'imposer sur le marché, les entreprises de technologie de pointe, caractérisées par des investissements importants en R&D, devront introduire leurs produits de manière simultanée sur plusieurs marchés.

3.2.4. Modèle de référence du cycle de vie produit

Diverses sources décrivent Les étapes du cycle de vie produit qui ont trait à l'idée qui est à l'origine de sa création, sa concrétisation, sa transformation et sa manipulation ainsi que ses composants physiques. L'initiative du GERAM (Generalized Enterprise Reference Architecture) [GER 98] et le standard EN/ISO 19439 qui est en cours de développement classifient les activités d'un système complexe décrivant le cycle de vie comme illustré sur la Figure 8. Dans ce système, les différentes phases du cycle de vie définissent les activités pertinentes à la vie d'une entité. Ces activités couvrent toutes les étapes de développement allant de l'idée au démantèlement de l'entité ou de l'entreprise. Ce modèle peut être utilisé pour la description du cycle de vie produit.

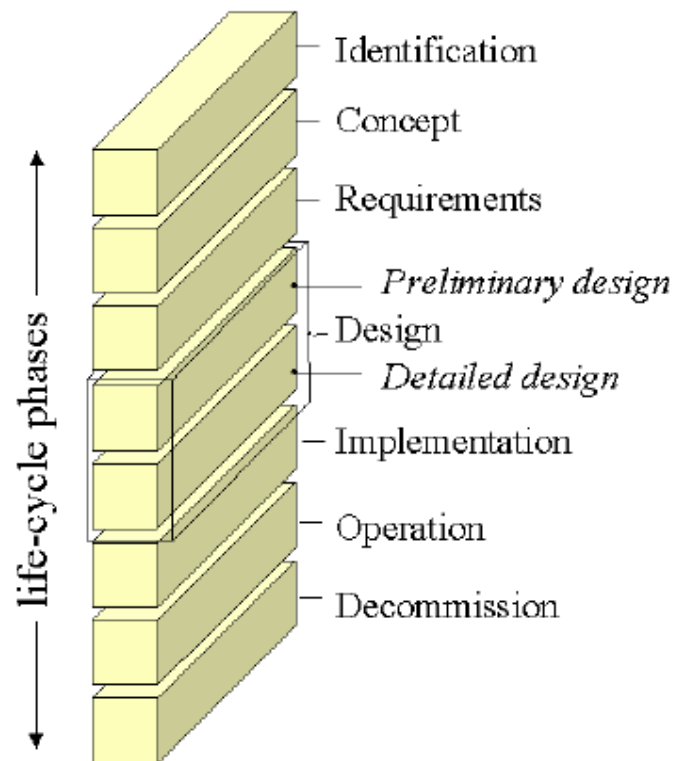


Figure 8 - Modèle de référence du GERAM pour le cycle de vie produit [GER 98]

Le modèle de GERAM comprend les étapes suivantes :

- **La recherche** (identification): s'occupe principalement de rechercher, évaluer et sélectionner les technologies à utiliser pour le développement du produit,
- **la conceptualisation** (concept) : désigne l'ensemble des activités nécessaires à la conceptualisation de l'idée à l'origine du produit, sa définition, ses objectifs stratégiques...
- **L'analyse des besoins** (requirements) : désigne l'ensemble des activités nécessaires à l'expression des besoins opérationnels de l'entreprise en terme de structures, services...
- **la conception** (design) : l'ensemble des activités qui s'intéressent à la conception du produit satisfaisant le mieux les besoins exprimés à la phase précédente. Elle comprend la conception préliminaire et la conception détaillée.

- **L'implémentation** : consiste à réaliser les solutions retenues à l'issue de la conception,
- **La mise en service** : (operation) l'utilisation effective des produits et leur commercialisation.
- **Le démantèlement** : (decommission) le retrait des produits en fin de vie.

Il existe beaucoup de définitions du cycle de vie produit. Dans le but d'avoir une compréhension unique de ce concept, toute référence au cycle de vie produit se rapportera à la séquence des étapes de la vie « conceptuelle » du produit et non à sa vie du point de vue commercial. Le concept de cycle de vie produit dans la vision PLM est mieux illustré à travers l'image en épicycles tel que décrit dans la Figure 9 où les nœuds représentent les principales phases du cycle de vie du produit, les flèches symbolisent à la fois les flux d'informations et de données échangées entre les acteurs et l'évolution du produit dans son cycle de vie.

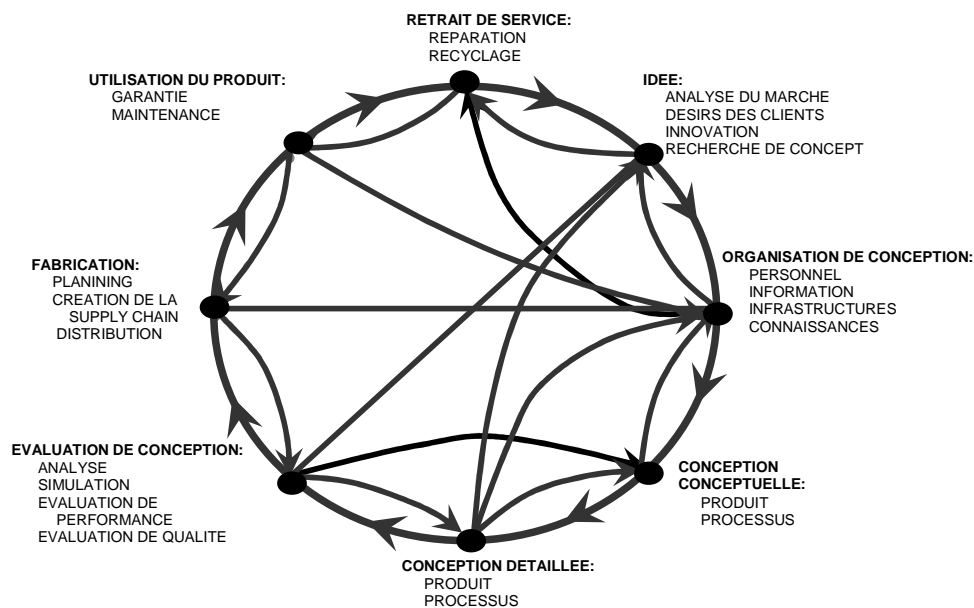


Figure 9 – Modèle en épicycle du cycle de développement de produit ²

Il est important de préciser que les actions menées ne sont pas toujours séquentielles. Elles sont utilisées pour traduire l'idée d'interdépendance entre les phases, de non séquentialité stricte dans leur déroulement et la possibilité de revenir en arrière sur une ou plusieurs phases.

3.3. Impacts technologiques sur les processus clés du cycle de vie produit

Depuis les années 70, les entreprises ont utilisé les technologies de l'information et de la communication (plus connues sous l'acronyme de TICs) pour assurer des activités et des processus de plus en plus complexes. L'adoption des technologies de l'information et de la communication par les entreprises modernes connaît une évolution croissante depuis l'arrivée des mini-ordinateurs dans les années 80, des stations de travail spécialisées et des PC pendant les années 90, jusqu'à l'ère Internet qui a provoqué un vrai bouleversement dans les divers

² Adapté de [Esw 06]

processus industriels. Dans ce qui suit, nous montrons l'influence des TICs dans des processus clés du développement de produit : le processus de conception, la mise en service et la distribution, l'entretien et la maintenance suivi par une description de quelques outils spécifiques à chaque phase du cycle de vie.

3.3.1. Impacts des TICs sur le processus de conception

Les activités de conception qui existent dans le vaste domaine du développement de produit ont utilisé divers outils technologiques. Ces outils se développent constamment grâce à l'évolution des technologies TICs. Par exemple dans le domaine du développement de produit, les outils technologiques d'aide aux ingénieurs ont existé depuis plus de 30 ans et sont actuellement à leur troisième génération : les premiers systèmes de CAO à 2D introduits dans les années 70 ont été remplacés dans les années 80 par les systèmes CAO à 3D dans les années 80. Les années 90 ont vu l'introduction d'outils plus spécialisés pour assister les ingénieurs dans les différentes tâches de conception [Imp], [IBM], comme la CFAO (Conception et Fabrication Assistées par Ordinateur) et la conception de gammes de fabrication. (Computer Aided Process Planning).

Actuellement, les technologies 3D jouent un rôle encore plus important. La notion de maquette numérique n'est qu'un exemple parmi d'autres. D'autres approches 3D sont actuellement en cours de développement et de diffusion telles que l'approche fonctionnelle [Imp], [IBM] et les systèmes à base de connaissances [Rul] qui peuvent maintenant remplacer des procédures de conception de plus en plus délicates.

Les systèmes CAO sont intégrés avec d'autres outils (CFAO, GPAO...), on parle de systèmes XAO. Cette intégration a été possible grâce au développement de standards internationaux tels que STEP [Man 98] et IGES [Pan 04]. Le domaine de la conception des gammes de fabrication (CAPP : Computer Aided Process Planning) a lui aussi connu un développement similaire. Les outils de CAPP ont évolué depuis de simples mécanismes vers des approches plus complexes caractérisées par la disparition des applications monopostes au profit de solutions distribuées collaboratives où les ingénieurs des divers départements et entreprises peuvent coopérer pour le développement de solutions communes de conception de gammes de fabrication plus profitables et mieux coordonnées [Wan 02],[Cut 93], [Zha 98a].

Durant ces dernières années, plusieurs outils d'aide au partage de l'information dans les environnements d'ingénierie distribués ont vu le jour sous divers noms et acronymes : EDM (Engineering Data Management), PDM (Product Data Management), PIM (Product Information Management), TDM (Technical Data Management) [TEC]... Tous ces systèmes disposent d'une base de données centralisée (coffre fort électronique) pourvue de services pour la gestion des données produit tels que les droits d'accès, le contrôle et la diffusion. Les données ainsi stockées sont de nature et de formats très divers : fichiers XAO au format natifs, manuels d'utilisation, fichier de données de simulation... Grâce à l'évolution de divers standards d'interopérabilité, une intégration à grande échelle entre les outils technologiques dans le domaine de la conception a pu être développée. Cette intégration est définie comme l'Ingénierie de la Fabrication Digitale [CIM 02], [TEV] (DME : Digital Manufacturing Engineering) qui a pour objectif l'intégration du processus de conception dans son intégralité, grâce à une plate forme de coopération utilisant Internet et les outils des TICs. Ce qui a réduit sensiblement le temps de développement des produits. Dans ce contexte, les technologies Internet sont les facteurs clés de succès, consacrant l'intégration de plates formes logicielles et matérielles en particulier grâce à leurs protocoles universels.

3.3.2. Impacts des TICs sur le processus de mise en service /distribution

Une évolution similaire à celle des outils de conception est apparue dans le domaine de la mise en service /distribution (operation/distribution). Des outils tels que le MRP (Material Requirement Planning) et l'ERP (Enterprise Resource planning) ont été utilisés dans ce domaine et ont pu intégrer beaucoup d'activités (finances, comptabilité...)

Avec le développement des marchés et de la sous traitance, de nouveaux outils issus des TICs sont apparus : le SCM (Supply Chain Management) pour améliorer l'échange entre producteurs et fournisseurs, le CRM (Customer Relationship Management) pour une meilleure gestion des clients et de leurs besoins, l'APS (Advanced Planning System) pour l'amélioration des gammes de production en centralisé et en distribué.

Actuellement, tous ces outils sont en cours de consolidation et d'intégration dans de larges plates formes technologiques de production et de distribution de grandes compagnies internationales, constituant des solutions logicielles intégrés coûteuses.

3.3.3. Impact des TICs sur le processus d'entretien/maintenance

Avec l'orientation processus des entreprises, beaucoup d'outils pour l'automatisation des processus de l'entreprise (BPA : Business Process Automation) plus connus sous l'acronyme de WFM (Work Flow Management) ont été développés durant les dix dernières années. Ces outils ont pu automatiser certains processus de l'entreprise en améliorant la vitesse d'échange des informations entre les différents services en utilisant des communications électroniques standardisées.

Un système de Workflow est physiquement un outil pour la gestion de l'information et des documents basée sur un entrepôt de données (data repository) commun où des droits d'accès sécurisés sont définis pour tous les utilisateurs. Les activités classiques répétitives sont automatisées. Les systèmes de workflow constituent le noyau de plusieurs autres systèmes tels que la gestion de document (DM : Document Management), le PDM, l'EDM (Electronic Document Management), le TDM (Technical Document Management), le SCM et le CRM. A leur tour, ces outils ont grandement bénéficié des technologies web qui deviennent de moins en moins cher et de plus en plus répandues.

3.3.4. Outils technologiques dans le cycle de vie produit

L'utilisation des outils technologiques dans les entreprises et leur diversité a généré un besoin croissant d'intégration et d'interopérabilité entre ces outils et les processus associés, ceci afin d'automatiser les échanges d'information et d'assurer une gestion cohérente des différentes activités.

Actuellement, ces tentatives d'intégration ont dépassé les limites des applications de conception et de mise en service du produit. De nouveaux problèmes d'intégration sont apparus et sont actuellement à l'étude. Cette tendance est appelée à s'amplifier avec l'apparition de plus en plus rapide de nouveaux outils dans l'environnement de l'entreprise et le problème constant d'intégration entre systèmes patrimoniaux et systèmes modernes.

Tableau 2 donne une idée sur quelques uns de ces outils, leur grande diversité et leur répartition le long des principales phases du cycle de vie produit donné en référence dans la section précédente.

Tableau 2 - Modèle de référence du cycle de vie et outils technologiques associés [Ter 05]

Phase du produit	Outils technologiques utilisés
Développement	CAD
	CAPP
	CAM
	CAE
	DMU
	EDM
	PDM
Production et distribution	WFM
	ERP
	MRP
	SCM
Utilisation et exploitation	CRM

Un commerce florissant d'outils d'intégration, initié par différents vendeurs [TEC], [UGS], [SAP], [Baa], qui proposent des solutions d'intégration à différents niveaux, est actuellement en pleine expansion dans l'environnement de l'entreprise.

3.4. Le PLM

L'acronyme de PLM a été utilisé dans la littérature pour la première fois dans les années 70-80 pour désigner des études de conception et fabrication préservant l'environnement. Dans cette optique, un produit pouvait être développé et fabriqué en tenant compte de son impact sur l'environnement, et ce, durant chaque phase de son cycle de vie jusqu'à son démantèlement et son recyclage [NiW 02].

Vers la fin des années 90, le concept de PLM a été étendu depuis un concept à visée environnementale (recyclage) vers un moyen plus complet pour indiquer la gestion de toutes les activités relative au produit et à sa traçabilité durant les différentes phases de son cycle de vie.

En tant que paradigme, le PLM est une approche stratégique pour la création et la gestion du capital intellectuel d'un produit pour une entreprise, depuis sa conception initiale à son retrait. En tant que phénomène TIC, un support PLM implique la modélisation, la capture, l'échange et l'utilisation de l'information dans tous les processus clés de l'entreprise.

Le PLM signifie pour beaucoup le paradigme du 21^{ème} siècle par excellence pour le développement de produit. La gestion d'un produit depuis l'idée jusqu'au démantèlement est en effet l'initiative stratégique la plus pertinente qui définit le développement de produit au 21^{ème} siècle. Cette idée bénéficie d'une acceptation de plus en plus grande à cause de l'émergence de l'entreprise étendue et de l'économie en réseau qui contraste avec la vision archaïque de l'entreprise en tant qu'organisation hiérarchique centralisée.

Le PLM implique la gestion des connaissances de la conception du produit, sa fabrication et sa mise en service qui va bien au-delà des limites des services classiques de l'entreprise. Le

PLM touche également les activités de vente, le service consommateur et les activités de retrait de service du produit dans un réseau étendu.

3.4.1. Périmètre d'action du PLM

Considéré comme une approche stratégique de management des informations relatives au produit, depuis sa définition jusqu'aux phases de maintenance en passant par la fabrication, le PLM (Product Lifecycle Management) représente avant tout une discipline industrielle. Il tire ses origines des secteurs aéronautiques et de défense, s'étend largement à l'automobile, l'électronique, la pharmacie, l'agro-alimentaire et touche aujourd'hui quelques rares secteurs tertiaires tels que la banque assurance.

A la lisière de la CAO, des ERP, du CRM, du marketing et de l'après-vente, le PLM tente de fédérer le flux des informations concernant un produit industriel. Ainsi la conception, le dessin et la fabrication assistés par ordinateur sont à considérer plutôt comme des outils au service de toute la chaîne d'ingénierie produit. Le PLM se définit plus comme une approche transversale de création, de gestion et de dissémination de l'information auprès des différents services de l'entreprise, ou de ses partenaires, concernés par le produit : bureaux d'études, services marketing, achats, logistique, production et après-vente.

La démarche PLM implique une imbrication très forte avec l'ERP de l'entreprise (gestion des stocks, de la production...), ses outils CRM (retours utilisateurs sur les anomalies, CRM analytique), son service marketing, etc. Il peut de ce fait apparaître comme une discipline pouvant ou voulant tout gérer, analyser et contrôler dans l'entreprise, une sorte d'ERP industriel universel aux contours finalement très flous. Mais le PLM se cantonne bien aux informations liées au produit, certes en interconnexion avec d'autres dispositifs de management des données, mais se focalisant sur le management de ces informations tout au long de la vie du produit.

Ainsi, grâce à une meilleure circulation de l'information dans l'entreprise, à la réduction du fossé qui peut parfois exister entre bureaux d'études et chaînes de production, à une prise en compte en amont des contingences liées aux évolutions du produit, le PLM permet d'apporter des améliorations concrètes en termes de fréquence de sortie de nouveaux produits, de gestion des ressources, de traçabilité des flux d'information (notamment avec les fournisseurs) et de rationalisation des données (création d'un référentiel unique).

3.4.2. Vers une définition du PLM

3.4.2.1. Le PLM selon le système de production de l'entreprise

M.PORTER définit l'entreprise comme un ensemble d'activités reliées entre elles, dirigées vers le même but : la création de valeur. Cette valeur résulte de la maximisation des gains et de la minimisation des coûts [**Por 85**].

Durant les années 80, cette recherche de valeur a poussé les entreprises à réduire les coûts et augmenter la productivité par une automatisation profonde et à grande échelle. Après les années 90, ce scénario est devenu plus complexe : les clients devenant de plus en plus exigeants sur la qualité du produit et l'augmentation de la compétitivité à l'échelle mondiale sont des facteurs qui ont poussé les entreprises à réviser leurs stratégie de création de valeur. Les facteurs clés de la réussite étaient l'innovation et la rapidité! Il s'agit de trouver la meilleure stratégie pour réduire le temps de développement des produits et leur mise sur le marché la plus rapide possible afin de répondre à une concurrence croissante. L'entreprise

étendue est née : les entreprises ont préféré confier les tâches secondaires pour lesquelles elles n'étaient pas spécialisées à la sous-traitance pour mieux se concentrer sur leurs compétences de cœur de métier. Cette nouvelle approche a profondément modifié l'ensemble des processus industriels présents dans l'entreprise.

Dans l'entreprise étendue, un processus industriel est un ensemble d'activités distribuées en différentes fonctions et entre différents départements, dirigées vers la création de valeur pour l'entreprise. Concrètement, la création de valeur pour l'entreprise résulte du produit/artefact/service que l'entreprise génère et vend pour réaliser des gains sur le marché. Donc le processus principal de l'entreprise est celui qui génère cette création. La définition de ce processus dépend étroitement du type et du domaine de l'entreprise :

- *Dans le domaine des entreprises manufacturières* : (secteur automobile, textile...) le processus principal est l'association de deux sous-processus : le sous processus de développement de produit (NPD : New Product Development) et le sous processus de production et de distribution.
- *Dans le domaine des entreprises d'ingénierie par passation de contrat (Engineering & Contracting)* : (aéronautique, construction navale...), le processus principal commence avec la définition des activités d'ingénierie et de budget, l'acquisition des composants de contractants et se termine par l'installation physique sur site.
- *Dans le domaine des entreprises à prestation de service* : la chaîne de valeurs est créée à travers les activités de conception, de structuration et maintenance du service.

La distinction de ces trois types d'entreprises conduit à définir respectivement trois types de PLM associés :

- Dans le 1° type (*entreprises manufacturières*), le PLM se rapporte au produit physique conçu, distribué et commercialisé puis retiré et recyclé.
- Dans le 2° type, le PLM se rapporte à la conception de produits plus complexes, (centrales chimiques, construction navale ou aéronautique) leur installation sur site, leur gestion et leur maintenance.
- Dans le 3° type, le PLM se rapporte au service offert, la conception des infrastructures nécessaires pour le fournir, son amélioration et sa maintenance.

Le point commun dans une vision PLM pour les différents types de produits cités précédemment est le besoin de gérer correctement une grande quantité de données produit, générées durant les différentes phases du cycle de vie. Ce besoin est de plus en plus accentué par la présence de plusieurs compagnies qui coopèrent au sein d'une entreprise étendue.

En définitive, le PLM comporte une série de processus qui dépendent du type de produit de l'entreprise, de la phase du cycle de vie et du niveau d'implémentation. La définition générale d'un processus industriel reste une tâche difficile. Beaucoup de contributions existent dans la littérature. Une des initiatives les plus importantes dans ce sens est le projet ENAPS (European Network for Advanced Performance Studies) [**And 98**] qui a pour objectif de développer un ensemble de processus génériques et de mesures de performances associées destinées à représenter un modèle de référence pour les processus d'entreprise. Une autre initiative importante est le projet VCOR (Value Chain Operations Reference model, [**VCOR 05**]) qui est une tentative d'élargissement et de généralisation du projet SCOR (supply Chain Operations reference model).

L'intérêt des académiciens pour le PLM est de plus en plus grand bien qu'assez récent. Durant ces dernières années (2004-2005) des efforts ont été faits pour aboutir à une définition unique du PLM dans les milieux scientifiques. Ainsi, un groupe d'intérêt pour le PLM était établi en Europe [**PLM IG**]. Le projet NoE de l'IMS a consacré le groupe d'intérêt : Special

Interest Group 1 au PLM [IMS]. De plus la première édition du journal international sur le PLM (International Journal on PLM) a vu le jour en juillet 2005 [IJP 05].

3.4.2.2. Le PLM selon ses fournisseurs

Le PLM peut être considéré comme une conséquence directe de l'évolution des technologies de l'information et de la communication.

Plusieurs fournisseurs de solutions PLM ont proposé des définitions de ce concept qui sont étroitement liées à leur vision propre et à leur stratégie de marketing.

Dans un contexte technologique, le PLM est défini par :

- (1) un « fragment » de technologie qui inter opère avec d'autres solutions technologiques
- (2) un module de plus dans une large série.

Ce type de définition à visée technologique donne une idée incomplète de la sémantique du PLM qui est un phénomène d'entreprise beaucoup plus complexe.

L'acronyme de PLM bénéficie actuellement d'une grande popularité sur les marchés d'outils et systèmes technologiques d'intégration des entreprises. Il est devenu presque un phénomène de mode dans ce domaine. Le PLM est ainsi devenu une solution incontournable pour promouvoir l'innovation et la concurrence, toutes deux créatrices de nouvelles chaînes de valeurs à travers le produit.

Une définition explicite et complète du concept de PLM n'est pas encore disponible dans la littérature scientifique, malgré les nombreux workshops et des conférences organisées dans ce but. Beaucoup de rapports émanant de certains fournisseurs tels que IBM [IBM] et Rulestream [Rul] proposent leurs propres définitions de ce concept.

Plusieurs centres de recherche industriels tels que l'AMR Research [AMR], CIMData [CIM 02b], Datatech [Dat], ARC Advisor Group [ARC 03], Gartner [Gar], QAD [QAD 02] etc. ont eux aussi élaboré et proposé des définitions. L'ensemble de ces définitions réunit des idées très pertinentes pour une définition plus complète du PLM.

Le groupe Datatech par exemple [Dat], conformément à son orientation pour les marchés XAO ne propose pas une définition explicite du PLM, mais utilise le PLM pour identifier l'évolution récente et l'informatisation des activités manufacturières et d'ingénierie.

Le groupe QAD [QAD 02] au contraire considère le PLM comme le meilleur instrument pour contrôler les performances des produits en tenant compte de la planification et la coordination des activités et de la gestion détaillée des documents et de leurs définitions. QAD concentre son attention sur les fonctionnalités collaboratives requises et non sur les aspects technologiques du PLM.

L'ARC Advisor Group [ARC 03] définit une solution PLM comme la bonne solution pour aider l'entreprise à obtenir le bon produit, au bon moment et au bon endroit. Pour L'ARC, le PLM est plus qu'une simple stratégie ou un outil technologique de plus, c'est une solution qui utilise un logiciel collaboratif pour créer et gérer une documentation détaillée sur les données du produit le long de son cycle de vie. L'ARC définit le PLM comme un ensemble de six éléments principaux : la gestion du portefeuille produit (product portfolio management), la gestion de projet (project management), la conception collaborative (collaborative design), la gestion des données produit (product data management), la gestion des gammes de fabrication (process planning management), et la gestion des services techniques (support services management).

Le groupe CIMData [CIM 02b] quant à lui donne une des définitions les plus complètes du PLM. Pour le CIMData, le PLM est:

« A strategic business approach that applies a consistent set of business solutions in support of the collaborative creation, management, dissemination, and use of product definition information across the extended enterprise from concept to end of life—integrating people, processes, business systems, and information ».

Pour le CIMData, le PLM n'est pas seulement une technologie mais une approche dans laquelle les processus sont aussi importants que les données. Ceci est expliqué par l'intérêt du PLM aussi bien pour « ce qui est créé » (produit) que pour « comment le créer » (les processus). CIMData définit le cycle de vie complet du produit comme étant constitué de trois cycles de vies corrélés :

- (i) Définition du produit (Product Definition) : un produit est défini comme la propriété intellectuelle d'une industrie ou d'un business et pas seulement l'apanage de l'ingénierie de conception. Elle inclut également l'ensemble des informations qui définissent comment le produit est conçu, manufacturé, utilisé et mis en service, puis par la suite retiré et démantelé en cas d'obsolescence,
- (ii) Définition de la Production (Production Definition) : se concentre sur le produit délivré en particulier les activités associées à la production et la distribution.
- (iii) Support Opérationnel (Operational Support): s'intéresse à la gestion des ressources de cœur de l'entreprise : ses employés (ressources humaines), son capital (ressources financières) ainsi que d'autre types de ressources fondamentales pour l'entreprise.

Il apparaît donc qu'une définition universelle et bien acceptée du PLM n'est pas actuellement disponible encore. En contrepartie, beaucoup de définitions propres à des fournisseurs et des entreprises de consulting privés « foisonnent » sur le marché, parrainant divers acronymes, comme montré sur le Tableau 3.

Tableau 3 - Acronymes du PLM [Ter 05]

Acronyme	Signification	Année d'apparition	Source
CPD	Collaborative Product Development	2001	[Acc 01]
CPD	Collaborative Product Definition	2001	[CIM 02b]
CPC	Collaborative Product Commerce	2001	[SUN 01]
UPLM	Unified Product Lifecycle Management	2001	[QUA 02]
PDS	Product Definition Server	2001	[Bet 02]
PLM	Product Lifecycle Management	2002	[ARC 03]
ILM	Infrastructure Lifecycle Management	2002	[Cam 03]
PLM	Product Lifecycle Management	2002	[Cam 03]
PLM	Product Lifecycle Management	2002	[UGS]
PLM	Product Lifecycle Management	2002	[Met]
PLM	Product Lifecycle Management	2002	[SAP]
MPM	Manufacturing Process Management	2002	[Tec]
PLM	Product Lifecycle Management	2002	[Tec b]
PLM	Product Lifecycle Management	2002	[IBM]

3.4.3. Briques technologiques métiers de base du PLM

Le PLM s'appuie sur des outils ou briques technologiques métiers de base pour réaliser ses objectifs de gestion du produit durant tout son cycle de vie. Ces outils peuvent se résumer selon les groupes CIMData [CIM 02] et AMR [AMR] à :

- Portfolio Project Management (PPM),
- Customer Need Management (CNM),
- Direct Material Sourcing (DMS),
- Product Data Management (PDM),
- Collaborative Product Design (CPD).

3.4.3.1. Le Portfolio Project Management

Par Portfolio Project Management ou PPM, s'intéresse à la gestion du portefeuille du projet. Cette fonction désigne la capacité à contrôler plusieurs programmes de développement de produit avec accès aux informations financières des employés par analyse de l'état des prix et des informations de marketing sur le produit ainsi que l'évaluation du risque lié aux projets. Le PPM est une activité de coordination qui gère le cycle de vie des produits et des services à travers toute la chaîne logistique dans le but d'aboutir à un meilleur gain financier. C'est un excellent outil d'analyse du cycle de vie des produits d'une entreprise dans le but de maximiser les profits et réduire les pertes.

3.4.3.2. Le Customer Need Management

Le Customer Need Management ou CNM s'intéresse à la gestion des besoins client. Cette fonction se focalise sur le développement d'une capacité à capturer les besoins émis par les clients et à évaluer la possibilité de concevoir et fabriquer un produit à un prix profitable pour l'entreprise et qui soit en mesure de répondre aux exigences des clients. Ceci afin de suivre les besoins de ces derniers et être le plus réactif possible aux changements dans le marché.

3.4.3.3. Le Direct Material Sourcing

Le Direct Material Sourcing ou DMS est une fonction qui joue un rôle très important dans la sous-traitance précoce des matériaux directs aussi bien pour les nouveaux produits que pour d'anciens produits améliorés à travers l'ingénierie de valeur. Le DMS permet aux entreprises de mieux collaborer et rentabiliser cette collaboration en réduisant les coûts directs et en identifiant et rendant disponibles les matériels nécessaires au développement de leurs produits.

3.4.3.4. Le Product Data Management

Le Product Data Management ou PDM est une fonction considérée comme le précurseur du PLM. Le PDM s'intéresse à l'intégration des données d'ingénierie à travers les différents services de l'entreprise. Il est à la base d'une solution collaborative qui lie ensemble les différents systèmes et services et représente le préalable d'une solution d'intégration plus globale : le PLM. Le PDM reste toutefois très liés aux seules données d'ingénierie.

3.4.3.5. Le Collaborative Product Design

Le Collaborative Product Design ou CPD (pour conception collaborative de produit) s'intéresse au processus de conception interactif, qui permet le partage des plans de conception entre les partenaires commerciaux et les ingénieurs navigant dans le système et apportant leurs modifications. Les principaux éléments d'un CPD sont :

- La visualisation des objets et/ou dessins techniques de plans de conception via Internet.
- La facilité d'intégration des applications de CAO et de CFAO grâce à des outils adéquats.
- L'existence d'espaces de travail où les partenaires peuvent stocker, partager, modifier et échanger l'information.
- L'existence d'un système transparent rendant possible l'identification des auteurs de toute modification d'un plan de conception.

Le Tableau 4 résume quelques fonctions technologiques de base répartie le long du cycle de vie.

Tableau 4 - Fonctions technologiques de base le long du cycle de vie produit

Phase du produit	Fonctions
Développement	Définition du Produit
	Configuration Produit
	Gestion des nomenclatures
	Gestion du Changement
	Gestion Projet et Processus
	Gestion de Document
	Gestion Processus de Fabrication
	Outils Analyse et Développement
Production et distribution	Gestion & Classification des Pièces
	Gestion des nomenclatures
	Gestion du Changement
	Gestion Projet et Processus
	Gestion Processus de Fabrication
Utilisation et exploitation	Gestion des nomenclatures
	Gestion du Changement
	Gestion Projet et Processus

3.4.4. Fonctionnalités fondamentales du PLM

Les systèmes PLM sont basés sur un ensemble de fonctionnalités fondamentales. Ces fonctions sont tirées du modèle de référence du PLM défini par le CIMData [CIM 01], tel que décrit par la Figure 10 et peuvent se résumer à : la communication et la notification, le transport de données, la traduction de données, la visualisation, la collaboration, l'intégration d'applications d'entreprise et l'administration système.



Figure 10 - Fonctions formant le noyau d'un système PLM [CIM 01]

3.4.4.1. La communication et la notification

Les utilisateurs des systèmes PLM doivent pouvoir être notifiés automatiquement suite à des événements critiques concernant l'état courant de leurs projets leurs produits, quelque soient leurs situations géographiques et leur fuseau horaire.

3.4.4.2. Le transfert et acheminement de donnée

Les utilisateurs de systèmes PLM ne doivent connaître que les noms des données qu'ils recherchent ou qu'ils utilisent sans se préoccuper de l'endroit où elles peuvent être stockées, et ce, quelque soit leur format ou leur type.

3.4.4.3. La traduction et conversion des données

Des traductions de données sont nécessaires à tout système PLM caractérisés par des données de formats et de types « hétéroclites ». L'existence de standards d'échange a grandement facilité ces traductions. Des standards industriels décrivant la géométrie et la forme caractéristique (feature) des produits, comme STEP (STandard for the Exchange of Product data), IGES, VRML sont très utilisés dans ce but, d'autres développements dans le domaine de la standardisation sont en cours pour permettre l'échange et la traduction des données géométriques et non géométriques. (Pour plus de détails sur le développement des standards, voir le chapitre 4).

3.4.4.4. La visualisation

Les outils de visualisation permettent à des utilisateurs de divers domaines à travers la chaîne logistique de visualiser, partager et communiquer des informations non contextuelles sur les produits, d'en modifier les plans et d'en suivre l'évolution sans disposer obligatoirement de leurs outils de visualisation dans leur format natif. Cette possibilité permet de concevoir des maquettes numériques à la place de prototypes réels plus coûteux.

3.4.4.5. La collaboration

Représente un plus haut degré dans l'échange et le traitement de l'information. La communication entre les différents partenaires ne se limite plus au simple échange d'informations mais vise la recherche de valeur pour les différents partis à travers l'établissement de vraies plates formes de collaboration. On passe ainsi de la gestion de

chaîne logistique (supply chain management) à la gestion de la logistique de conception (design chain management).

3.4.4.6. L'intégration d'application d'entreprise

Permet le partage d'informations et de processus entre plusieurs organisations au sein de l'entreprise étendue. Pour assurer l'interopérabilité entre le système PLM et le reste de l'entreprise, cette fonction doit supporter un large spectre de standards logiciels, matériels et de données. Une intégration PLM devrait inclure l'aspect sémantique de données pour synchroniser et coordonner l'information structurée, semi structurée et non structurée en tenant compte de la sémantique des informations. Ceci constitue un axe de recherche porteur dans le domaine du PLM et un des points les plus importants de notre problématique. Les prochains chapitres décrivent cette problématique avec plus de détails ainsi que les solutions d'intégration que nous proposons.

3.4.4.7. L'administration système

L'administration du système PLM en établit les paramètres et en supervise les performances. Les fonctions de l'administration système incluent le contrôle d'accès, les permissions de changement, les autorisations d'accès, la sauvegarde et l'archivage des données etc.

3.4.5. Gestion de la complexité des produits

Dans cette section, nous citerons des problèmes qui ne sont pas explicitement pris en charge par le PLM et qui restent à intégrer.

3.4.5.1. Gestion de configuration

Définition

Une configuration est un ensemble des caractéristiques *Fonctionnelles* et *physiques* d'un produit définies par les documents techniques et obtenues par le produit. Par exemple : la vitesse maximum de roulement sans arrachement pour un pneu modèle X40 fait partie des caractéristiques de sa configuration, elle est définie par un document technique rattaché à ce modèle de pneu, et elle doit être atteinte par le pneu modèle X40.

Article de configuration

Un article de configuration est un ensemble de matériels, logiciels et services ou un sous ensemble défini de ceux-ci qui a été retenu pour la gestion de configuration et qui est traité comme une seule entité dans le processus de gestion de configuration. Par exemple un dérailleur pour vélo n'est pas vendu seul mais l'est sous forme d'un article composé d'un dérailleur, de deux vis de fixation, de rondelles, d'un ressort et d'une notice de montage. Cet article est répertorié comme une seule entité dans la gestion de configuration de ce vélo.

Maîtrise de la configuration

Il s'agit de l'ensemble des activités d'évaluation, de coordination, d'approbation ou de refus de mises en oeuvre des évolutions des articles de configuration etc., qui visent à maîtriser la configuration, c'est à dire à partir d'un état initial connu, décider de façon explicite et en appliquant des règles connues de ce qui change ou ne change pas. L'idée exprimée ici, est que la maîtrise (savoir ce que l'on a et comment cela évolue) ne peut pas être obtenue si des acteurs agissent indépendamment sans partager d'information et sans partager les règles de travail.

Acquérir une configuration

Acquérir une configuration consiste à acquérir et présenter de façon claire et complète la configuration instantanée du produit et l'état d'accomplissement de ses spécifications.

C'est à dire avoir à tout instant une vision claire des éléments que l'on gère et pouvoir répondre aux questions :

- Comment a évolué la définition ?
- Qu'est ce qui est installé ?
- Suivant quel historique ?
- etc...

Avec pour objectifs de:

- maîtriser la configuration de référence,
- maîtriser la configuration instantanée,
- maîtriser les configurations livrées, désirées, etc.,
- et connaître toutes les actions relatives à ces configurations et aux écarts entre ces configurations.

Ces objectifs concourent à l'application des règles techniques et administratives au développement, à la production, au soutien d'un article de configuration.

3.4.5.2. Gestion de la nomenclature le long du cycle de vie

Définition de la nomenclature

Connue également sous l'acronyme de BOM (Bill Of Material), c'est une liste ordonnée de matériaux, de composants, de sous-ensembles ou d'assemblages. Ces éléments décrivent un produit. Normalement créée et maintenue comme fonction particulière de la gestion de configuration produit, elle définit la nature, le numéro de référence et le nombre de composants utilisés, ainsi que les relations entre composants et assemblages.

En dessin industriel, la *nomenclature* est un tableau contenant la désignation de toutes les pièces qui composent le dessin (plan mécanique; schéma électrique ou fluide etc). Chaque pièce est repérée par un numéro, qui renvoie au dessin d'ensemble de l'objet. La nomenclature précise les différents matériaux choisis pour les pièces, ainsi que certaines particularités (caractéristiques spéciales; traitements spécifiques; etc). La nomenclature se place soit sur la feuille du dessin d'ensemble, soit en document séparé.

Les articles constituent des éléments de la nomenclature. La structuration des produits ne se limite pas aux articles mais elle s'étend aux documents décrivant les articles. La nomenclature peut donc être définie comme une structuration de l'ensemble des articles et des documents qui les décrivent.

Le concept employé pour structurer les différentes vues de produits est celui d'objet technique. Un *objet technique* est un élément constitutif d'une nomenclature de produit [Mau 93]. Il désigne ainsi aussi bien les articles que les documents et constitue une abstraction de ces deux éléments.

La gestion de structure de produit permet de :

- définir les classes de liens permettant de relier les articles entre eux
- suivre l'évolution et les modifications de nomenclatures
- gérer les options / variantes techniques à l'intérieur du produit
- assurer les fonctions de recherche
- assurer la liaison avec d'autres applicatifs informatiques

Rôles de la nomenclature produit

La nomenclature de produit permet d'offrir un ensemble de mécanismes permettant à l'utilisateur d'associer les documents techniques aux structures des composants du produit.

Différentes disciplines peuvent intervenir sur un même produit, le SGDT permet de définir plusieurs vues permettant d'accéder à la structure produit sous des points de vues différents.

La configuration produit évolue avec le temps; aussi le SGDT va conserver la trace des variantes étudiées et des révisions successives du produit.

La navigation à l'intérieur de la structure permet de connaître les liaisons entre les différentes données techniques et la recherche des documents associés. Par ailleurs, il existe des liens entre articles permettant de décrire la structure du produit :

- nomenclature : lien composé/composants à un seul niveau
- arborescence produit formée de n. niveaux de nomenclatures

D'autres liens permettent de relier les articles aux documents qui les décrivent ou aux documents entre eux. Cette structure complexe peut être dynamique et comporter autant de vues ou de représentations que de métiers qui interviennent sur le produit.

3.4.6. Tendances chez les fournisseurs de PLM

Les technologies de l'information et de la communication (TICs) sont pour une large part responsables du gain de popularité des marchés PLM, avec l'utilisation de plus en plus répandue de nouveaux acronymes technologiques comme illustré sur le Tableau 3.

Les fournisseurs PLM adoptent généralement les mêmes stratégies en dépit de leurs acquis et de leurs orientations initiales qui se résument principalement à trois tendances:

- 1- les fournisseurs des milieux de l'ingénierie digitale comme UGS [**UGS**] et IBM [**IBM**] ont pour point commun de chercher à connecter les processus de gestion des services de l'entreprise (Operation Management processes).
- 2- Les fournisseurs proches du domaine des ERP tels que SAP [**SAP**] et IBaan [**Baa**] s'orientent vers la connexion des outils et des plates formes d'ingénierie et de fabrication digitales (Digitally Manufacturing and Engineering Tools and Platforms)
- 3- Les fournisseurs du domaine des TICs visent à établir des environnements collaboratifs d'intégration pour le PLM en utilisant principalement des technologies web.

La tendance actuelle dans les marchés PLM est dominée par une approche synergique de fusion/acquisition. Les fournisseurs et les vendeurs de solutions PLM sont conscients de la force de l'union de leurs efforts pour dominer le marché et en acquérir le monopole. De nombreux exemples peuvent être cités. Dans le domaine de l'ingénierie et la fabrication digitale, IBM et Dassault Systèmes développent et commercialisent une plate forme intégrée réunissant plusieurs outils tels que : Catia, SolidWords, Enovia et VPM qui sont intégrés avec Deneb et SmarTeam, développés eux par d'autres compagnies. A son tour Autodesk a acquis les compagnies Linius Technologies [**Lin**] et TrueInnovations [**Tru**] pour doter le marché de solutions adaptées à plusieurs secteurs industriels.

En terme de volume, CIMData [**CIM 02b**] procure l'analyse la plus complète du marché PLM de l'année 2003, et plus particulièrement sur la partie de ce marché consacrée à la gestion de la définition collaborative du produit, plus connue sous l'acronyme de cPDM (collaborative Product Definition management). Dans son rapport, la perspective PLM est analysée dans une variété de secteurs industriels et géographiques, identifiant les tendances dominantes du marché et revoyant les investissements consentis dans les logiciels et les services PLM durant l'année 2003. Des prévisions sont faites pour les années de 2004 à 2008.

CIMData définit le marché PLM comme étant composé de deux segments principaux :

- (i) le cPDM (collaborative Product Definition management) basé sur la collaboration, la gestion et le partage de l'information relative au produit.

- (ii) les outils de conception/création et d'analyse ou (Authoring and Analysis Tools). Ces derniers incluent les outils de conception primaires tels que les outils de CAO, CFAO ou XAO en général, les outils de GLAO (Génie Logiciel Assisté par Ordinateur) et le technical publishing.

Concernant les performances du marché PLM, le rapport de CIMData explique que durant l'année 2003, le marché du PLM a connu une croissance de 4% sur l'année 2002, qui représente approximativement \$14 billions, desquels 67% soit \$9.5 billions représentent les investissements dans le second segment c'est-à-dire les outils de conception et d'analyse, et 33%, soit \$4.6 billions représentent les investissements du premier segment (le cPDm). Ces segments ont tous deux connu une croissance en 2003, en enregistrant toutefois une croissance plus rapide des investissements dans le premier segment (cPDm). La Figure 11 montre la taille des marchés PLM en distinguant les deux segments précédents. Les prévisions sont basées sur les données du premier quart de l'année 2004.

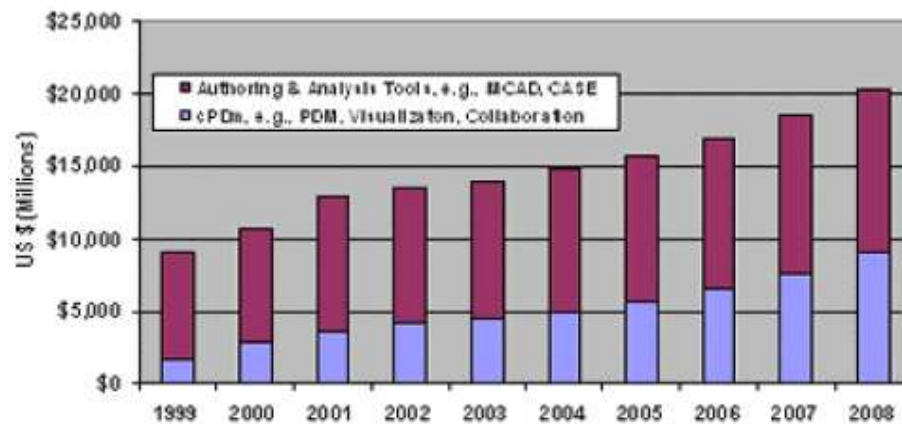


Figure 11 - Investissements PLM passés et futurs (2004-2008) [CIM 02b].

Selon les estimations, d'ici à 2008, le marché PLM est appelé à augmenter selon un taux de croissance annuel cumulé de 8%, dépassant les \$20 billions. Le cPDm est pressenti comme le segment dont la croissance sera la plus rapide avec un taux de croissance annuel cumulé de plus de \$9 billions en 2008. Le second segment : outils de conception/création et d'analyse ou (Authoring and Analysis Tools), aura une croissance plus lente avec un taux de 3% sur les cinq prochaines années, atteignant les \$11 billions en 2008.

Le segment cPDm du marché PLM comporte trois composants voir Figure 12:

- les fournisseurs de technologies complètes (comprehensive technology suppliers) tels que Agile, IBM/Dassault Systèmes, MatrixOne, PTC, SAP, UGS/EDS, etc., représentent 50% du segment cPDm du marché PLM,
- les intégrateurs de systèmes et revendeurs (system integrators-resellers-VARs-value added retailer /reseller-) en représentent 33%
- les fournisseurs d'applications spécialisées (focused application suppliers) en représentent 17%.

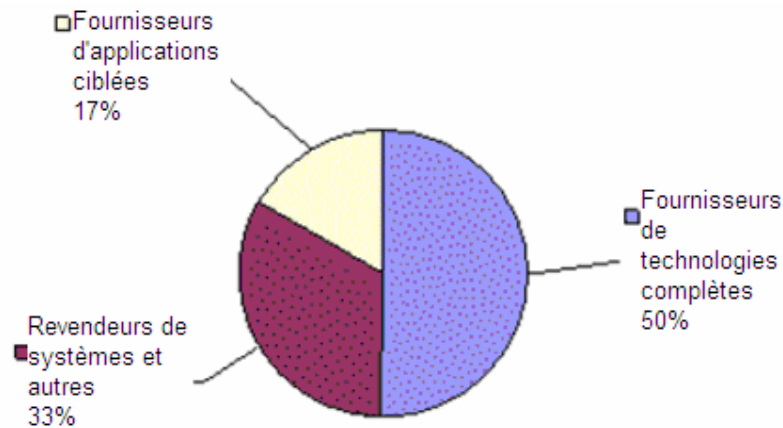


Figure 12 - Distribution des composants cPDM [CIM 02b]

Plusieurs fournisseurs de services et de technologies PLM ont généré des gains substantiels en ciblant des services spécifiques sur le large marché du PLM. Quelques uns sont devenus des leaders sur le marché à travers la génération de gains et /ou la promotion de la créativité et de l'innovation. Parmi ceux qui ont réalisé les gains les plus grands, il y-a EDS et IBM/DS, suivis par PTC, SAP, MatrixOne et Agile.

Les approches PLM sont de plus en plus répandues et adoptées dans différents secteurs industriels, le secteur mécanique (automobile, aéronautique) se taillant la plus grande part. Actuellement, d'autres secteurs montrent un intérêt croissant pour les outils PLM : le secteur de l'architecture et du génie civil, le secteur des services et d'autres secteurs industriels comme la confection et le textile.

Dans le secteur de l'architecture et du génie civil, des entreprises comme Daratech [Dat] estiment que le PLM sera l'un des outils les plus importants pour les fournisseurs de solutions d'entreprises en comme en témoigne l'apparition de nouveaux acronymes PLM/AECO (Architecture and Civil Engineering) pour Daratech [Dat], ILM (Infrastructure Lifecycle Management) pour Cambashi [Cam 03]. Dans le domaine des services, il y-a également beaucoup d'utilisations potentielles du PLM, Par exemple dans le domaine sanitaire et de gestion des hôpitaux, le PLM est utilisé pour la collecte et la gestion correcte des informations relatives aux patients durant leur vie. Un nouvel acronyme a été introduit dans ce domaine : le SLM (Service Lifecycle Management) [Bro 03]. Dans d'autres secteurs industriels comme le textile et la confection, le PLM a été utilisé pour gérer plus rapidement et plus efficacement l'information produit en fournissant aux directeurs de production et au concepteurs le volume des ventes journalières pour améliorer la production et modifier en conséquence les catalogues saisonniers.

Le phénomène du PLM est une expérience mondiale qui s'étant dans des secteurs de plus en plus variés, élargissant ainsi le marché du PLM dans les prochaines années.

Les centres de recherche industriels tels que CIMData et Aberdeen&Gartner prédisent tous une évolution du PLM et une extension de ses marchés. En effet, comme révélé par une étude d'Accenture [Acc 01], beaucoup de managers de diverses industries sont intéressés par l'utilisation du PLM dans leurs entreprises. Cette étude montre qu'à ce jour, le PLM est réellement considéré comme la clé du succès pour : (i) améliorer le temps de mise sur le marché, (ii) réduire les coûts de développement et de gestion des produits, (iii) éviter les erreurs de communication et (iv) promouvoir l'innovation dans l'entreprise.

3.4.7. Problèmes ouverts dans le PLM

Le PLM représente une approche relativement nouvelle qui fusionne plusieurs aspects et phénomènes complexes allant de la vision stratégique centrée sur le produit à l'adoption de technologies distribuées avancées, consacrant la collaboration entre les personnes et les organisations.

L'adoption d'une approche PLM nécessite d'abord de comprendre le rôle de l'information et de son partage dans l'entreprise à travers les processus et les activités créateurs de valeur.

Selon le CIMData [CIM 02b], une approche PLM est identifiée dans une entreprise quand :

- un accès universel et sécurisé à l'information produit et son utilisation efficace sont disponibles
- l'intégrité de la définition du produit et de l'information relative à travers toute la vie du produit est maintenue
- les processus industriels pour la création, la gestion, la distribution, le partage et l'utilisation de l'information produit existent et sont correctement gérés et maintenus.

A partir de la définition du PLM proposée précédemment et de l'étude qui a suivi, il est possible de dégager plusieurs problèmes et questions ouverts inhérents au PLM et à son évolution :

- du point de vue de l'organisation stratégique, l'adoption d'une approche centrée sur le produit signifie souvent la re-modélisation ou la réorganisation de toutes les relations établies entre les ressources (personnes, équipements...) impliqués dans les divers processus orientés cycle de vie produit. Comment agir à un niveau stratégique dans une perspective PLM est un des principaux problèmes rencontrés dans ce contexte.
- Du point de vue technologique, une gestion centrée sur le produit est un problème de base de données. L'information sur les produits et les processus est dispersée dans une variété de systèmes d'information hétérogènes qui représentent des vrais « îlots d'information » (PDM, ERP...). L'enjeu majeur actuellement réside dans l'intégration de ces îlots dans un large entrepôt distribué pour garantir une utilisation plus large et plus efficace de l'information produit. Dans un premier temps, des tentatives d'intégration ont été faites à une échelle réduite avec l'instanciation de plusieurs solutions propriétaires, mais plus récemment, des efforts de standardisation sont à pied d'œuvre pour mettre en place une intégration technologique ouverte (voir chapitres 4). Dans cette optique, plusieurs alternatives sont envisageables et des investigations dans ce domaine sont en cours.
- Du point de vue structurel (infrastructure), l'utilisation d'une approche de gestion centrée sur le produit signifie que cette gestion est menée sur plusieurs éléments :
 1. L'infrastructure de l'information qui concerne l'utilisation et l'établissement des TICs et des réseaux
 2. infrastructure des ressources qui concerne la conception et la gestion de tous les éléments physiques impliqués dans le cycle de vie produit (machines, matériels, usines, personnes, entrepôts...)
 3. l'infrastructure du produit lui-même, le produit lui-même est considéré comme une ressource gérée et suivie durant son cycle de vie.

Tous ces points constituent des questions ouvertes relatives au PLM et représentent des domaines de recherche et de développement à part entière dans le domaine industriel et académique. Le rôle des TICs dans le domaine du PLM est indiscutable mais vu la complexité du PLM, elles ne suffisent pas à elles seules bien que l'évolution du PLM y soit étroitement

liée. Le succès et l'évolution du PLM dans les prochaines années en dépend et reste un thème de recherche d'actualité.

3.5. Conclusion

L'objectif de ce chapitre était de dresser un état de l'art sur les notions de cycle de vie produit et de PLM afin de montrer dans quel cadre se situe notre travail. Cette étude a permis de clarifier ces notions et de montrer leurs dimensions complexes. En effet, le PLM en tant que concept, a un périmètre très large et une couverture fonctionnelle très étendue allant des étapes amont d'analyse des besoins aux phases de maintenance et de retrait. Par conséquent, il est difficile d'en cerner la totalité des aspects, de nombreux problèmes sont encore à résoudre et de nombreux modèles restent à définir ...

Devant la complexité des environnements de développement de produit au sein de l'entreprise étendue, les plateformes dites PLM peuvent apporter une solution d'intégration en visant à gérer les données et processus relatifs à un produit tout au long de son cycle de vie.

Dans La deuxième partie de cette thèse, nous étudierons des perspectives de solutions à ces problèmes à travers l'analyse de quelques méthodes d'intégration au chapitre 4 et l'étude approfondie d'une méthode spécifique basée sur les ontologies au chapitre 5.

Deuxième partie : Analyse de méthodologies
d'intégration

Chapitre 4: Méthodologies d'intégration d'applications dans une perspective PLM

4.1. Introduction

Ce chapitre s'intéresse à la description de quelques approches d'intégration d'applications parmi les plus utilisées dans un cadre PLM. Ces approches sont toutes basées sur les données produit et se déclinent en trois catégories, selon le type et le niveau de description utilisés pour ces données. Nous allons décrire principalement trois approches d'intégration, reflétant respectivement trois niveaux de description de données distincts :

- **Une approche d'intégration par les standards** : au niveau description standardisée des données et des connaissances produit. Nous proposons une étude détaillée des standards dans le PLM, leur typologie, en distinguant : les standards ouverts (STEP, PLCS...), les standards de fait (XMIL, ...) et les standards industriels (PLM-XML de UGS, X3D de Dassault...) et en illustrant leur rôle dans l'interopérabilité entre applications.
- **Une approche d'intégration par les données métier techniques** : les données sur lesquelles est basée l'intégration ici sont des connaissances métier techniques très utilisées dans les applications d'ingénierie (les applications XAO), plus connues sous le nom de Features ou formes caractéristiques: nous définissons d'abord le concept de feature et comment l'utiliser pour adapter et/ou intégrer selon divers points de vue.
- **Une approche d'intégration par les connaissances métier génériques** : principalement illustrée par l'utilisation des ontologies et des méta-données, potentiellement porteuses d'une sémantique plus riche et plus complète sur tous les aspects du produit.

Chaque approche fera l'objet d'une étude détaillée. La première approche est l'objet de la section 4.2, la seconde est traitée au niveau de la section 4.3 et la dernière au niveau de la section 4.4. Chaque section est conclue par un récapitulatif des points importants de l'approche et d'une évaluation de son potentiel d'intégration dans une vision PLM.

4.2. Intégration par les standards

Dans cette première approche, nous montrons comment une intégration des données dans une vision PLM est faite en utilisant principalement une description standardisée des données produit.

Les standards utilisés à cet effet sont très nombreux : STEP, PLCS, XML et ses standards dérivés tels que PLM XML ...

Afin de pouvoir mieux les distinguer, nous donnerons une définition du concept même de standard puis nous dresserons une typologie des standards PLM pour les catégoriser.

4.2.1. Qu'est-ce qu'un standard ?

Un standard est une norme (un ensemble d'engagements consentis par un groupe de personnes) qu'il faut respecter soit parce qu'un organisme en a décidé ainsi autoritairement

(standard de jure), soit parce que tout le monde fait comme ça et que si on ne suit pas, on n'aura pas de clients (standard de fait)³.

Il existe des standards pour tout en informatique, que ce soit pour les formats de documents, les langages, les connecteurs, les protocoles etc.

4.2.2. Classification des standards

D'une manière générale, il existe différents types de standards, la différence entre un type et un autre tient essentiellement à deux paramètres : la communauté à laquelle il est destiné (publique ou privée) et les organismes impliqués dans son développement (industriels, académiques, etc.)

Une classification des différents types de standards est nécessaire vu le progrès fulgurant de la technologie de l'information qui a remis en question les règles même de développement de standards et du fait que la composante TIC est l'une des plus dominantes dans le PLM. Il existe au moins 3 types de standards [Pea 04] :

- Les standards ouverts
- Les standards industriels
- Les standards de fait

4.2.2.1. Les standards ouverts

Les standards ouverts sont des standards établis par des organismes publics et qui sont librement accessibles à tous. Ils sont développés par des consensus dans un groupe d'intérêt. Les conditions d'adhésion et les règles d'organisation et de conformité varient énormément au sein de ces groupes. Ils peuvent être des organismes officiels internationaux tels que l'ISO ou des petits groupes industriels. Les Standards de l'ISO et l'OMG en sont des exemples. Dans le cas du PLM, STEP (STandard for the Exchange of Product model data) est un exemple de standard ouvert développé par l'ISO avec l'aide de consortiums industriels tels que PDES, Inc⁴ et ProSTEP⁵. XML (eXtensible Markup Language) [XML 02] et UML (Unified Modeling Language) [Boo 00] sont aussi des exemples de standards ouverts. XML est développé par le World Wide Web Consortium (W3C) et UML est développé par l'OMG (Object Management Group) [OMG 03].

4.2.2.2. Les standards industriels

Les standards industriels sont des technologies communément utilisées mais qui ne sont pas ouvertes ou démocratiquement gérées par un groupe d'utilisateurs. Le langage Java est un exemple d'un tel standard. Beaucoup d'organismes sont impliqués dans le développement du langage Java mais une seule compagnie détient le monopole du processus de standardisation (SUN microsystems). Par conséquent, il est considéré comme un standard industriel.

4.2.2.3. Les standards de fait

Sont des standards qui le sont devenus parce qu'ils sont très largement utilisés du fait qu'ils sont associés à d'autres technologies très répandues, ils s'imposent donc de fait et ne sont pas développés par un organisme de standardisation. Un logiciel peut devenir un standard de fait à

³ <http://www.tout-savoir.net/lexique.php?rub=definition&code=7102>

⁴ PDES, Inc. est un consortium global d'industries, de gouvernements, et de membres académiques travaillant ensemble pour avancer le développement et la mise en oeuvre de la technologie STEP, USA.

⁵ ProSTEP est une association pour la promotion des normes internationales de données de produit (STEP), Allemagne.

cause d'une large adoption. Des exemples de tels standards sont : le système d'exploitation Microsoft Windows et le protocole SOAP (Simple Object Access Protocol).

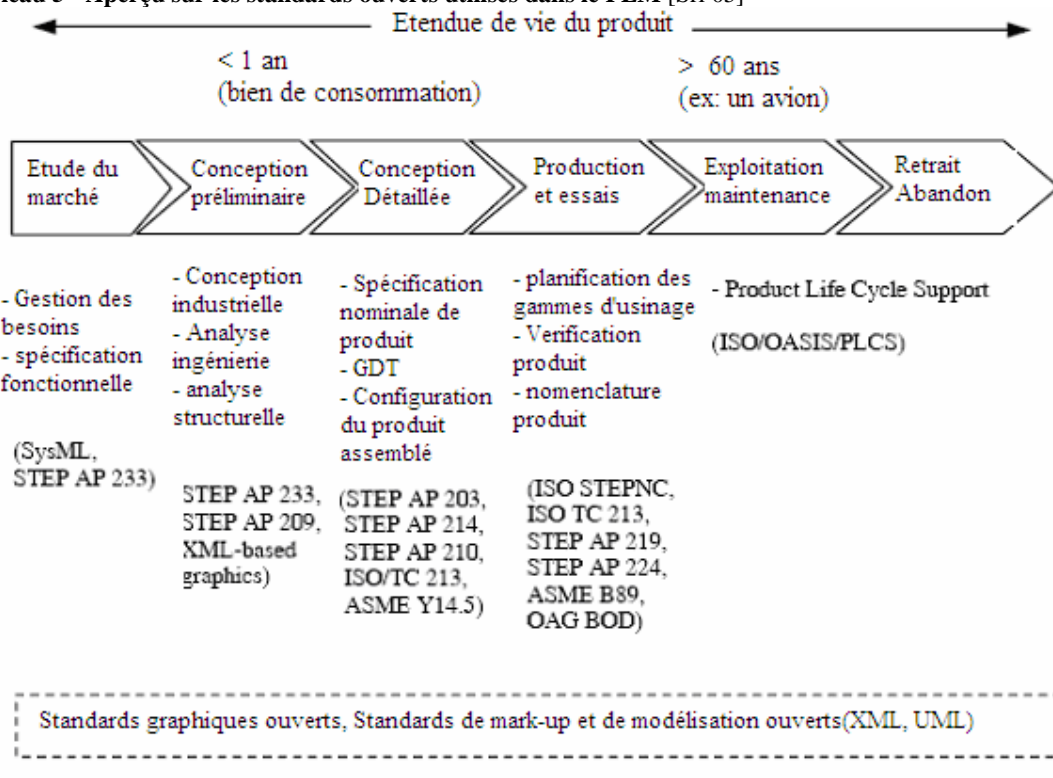
Actuellement, les fournisseurs de logiciels et de systèmes PLM ont tendance à proposer des standards de fait afin de garder un monopole sur le contenu et le prix de leurs produits. En contrepartie, les clients optent pour des standards ouverts dans le but de garder le maximum de liberté et de flexibilité dans le choix de leurs outils de gestion et de développement produit. Ce conflit (fournisseurs / client) est omniprésent et a tendance à s'intensifier à l'avenir, conditionnant le processus même de standardisation dans l'industrie.

4.2.3. Rôle des standards comme supports du PLM

La demande vers des standards ouverts est croissante dans le domaine du PLM pour faciliter l'échange et la circulation correcte de l'information entre les différentes applications. Les échanges étaient d'abord restreints aux informations géométriques puis ils se sont généralisés aux différents aspects du produit à travers son cycle de vie.

Le Tableau 5 ci-dessous [Sri 05] donne un aperçu sur les standards ouverts utilisés dans le PLM en détaillant le cycle de vie phase par phase. La durée de vie du produit varie sensiblement en fonction de son type, allant de moins d'une année pour les biens de consommation à plus de 60 ans pour des avions par exemple.

Tableau 5 - Aperçu sur les standards ouverts utilisés dans le PLM [Sri 05]



L'axe qui est dans la partie supérieure montre dans un ordre chronologique, les différentes phases du cycle de vie produit. La circulation de l'information ne respecte pas l'ordre préétabli des phases, en fait, elle peut emprunter toutes les directions à travers les différentes phases du développement produit. De plus, cette information en général n'est pas la propriété d'une organisation unique mais d'un ensemble de services et de partenaires répartis à travers

tous le cycle de vie, donc les formats en sont très variés, ce qui rend le PLM une des alternatives les plus complexes en industrie.

L'étendue et la complexité des domaines montrés sur ce tableau expliquent et justifient le développement de plusieurs de ces standards en parallèle et de façon parfois indépendante et asynchrone. Par la suite et après un recul suffisant rendant les informations plus explicites et disponibles, les standards développés ont subi des essais d'harmonisation. Quelques uns ont été développés dans les années 1930, d'autres sont plus récents et datent de l'an 2000, d'où la nécessité de passer en revue l'évolution historique des standards PLM.

4.2.3.1. Evolution historique des standards PLM

Le développement des standards dans le domaine du PLM a commencé avec les outils CAO qui utilisaient beaucoup de logiciel de graphisme et de géométrie 2D. Les standards apparus dans ce domaine sont : GIF (Graphic Interchange Format), PS (PostScript) et son successeur PDF (Portable Document Format) qui couvrent des domaines plus vastes que ceux de l'ingénierie. Ce sont des standards de fait [Sri 05].

La recherche d'un format commun pour les données issues de la XAO est un souci récurrent des industriels dans le monde entier depuis les années 70. La mise en œuvre d'échange et de partage des données a amené les industriels, surtout ceux qui utilisent beaucoup la sous-traitance (l'industrie automobile, aérospatiale), à créer des standards. Ces standards ont beaucoup servi aux différents partenaires pour mener à bien leurs projets. La plupart d'entre eux sont des standards nationaux; on peut citer la norme SET (Standard d'Echange et de Transfert), IGES (Initial graphical Exchange System), la norme allemande VDA-FS, etc.[EHM 04].

1) La norme IGES

En 1979, aux Etats Unis, les utilisateurs et les éditeurs de systèmes CAO se sont mobilisés pour créer le premier standard d'échange de données CAO. Au printemps 1980 le National Bureau of Standard (NBS) avait formé l'organisation IGES (Initial Graphics Exchange Specification) [IGE 80]. IGES est un standard d'échange, dont le principal objectif est l'échange des dessins techniques. Il est utilisé principalement dans le domaine de mécanique et d'aéronautique. Au début, il contenait des entités de base telle que la géométrie, l'annotation et la structure. Les nouvelles versions ont intégré les méthodes éléments finis et les systèmes électriques. Le transfert des modèles solides a été ajouté dans la version 4.0 [Fou 98].

2) La norme SET

SET (Standard d'Echange et de Transfert) [SET 89] est un standard français lancé en 1983 par l'Aérospatiale. Cette dernière avait besoin d'une base de données commune pour des données issues de différents systèmes de CAO. Le standard représente une solution aux exigences relatives à l'échange de données entre différents systèmes de CFAO et au besoin d'archiver ces données. La première version normalisée est apparue en 1985 (norme AFNOR expérimentale Z68.300.85.08). Elle contenait:

- des spécifications détaillées du domaine de la mécanique,
- des informations supplémentaires concernant la structure des données et les concepts utilisés,
- des règles et des recommandations concernant les spécifications qui assurent la cohérence dans le futur développement.

En 1987 est apparu le groupe opérationnel GOSET dont les principaux objectifs étaient de développer SET, d'apporter une aide technique aux utilisateurs de la norme, de valider les interfaces entre les logiciels de CFAO et la norme et de participer aux travaux de normalisation nationaux et internationaux dans le domaine des échanges de données CFAO.

3) Norme VDA-FS

Le standard allemand, "Verband der Automobilindustrie Flaechen-Schnittstelle - Grafikstandard", (VDA-FS) [VDA 86] a été développé dans l'industrie automobile pour l'échange des modèles surfaciques. Il a été normalisé en 1985 par DIN (l'organisme de normalisation allemande). Cette norme était basée sur IGES mais a ajouté en particulier un format d'échange de fichiers de calcul à celle-ci [Kem 99].

4) Le standard DXF

DXF est un standard de fait. Il fut développé par la société AUTODESK qui édita le logiciel AUTOCAD. Ce standard avait pour objectif de sauvegarder les modélisations de DAO (Dessin Assisté par Ordinateur) d'AUTOCAD dans des fichiers ASCII. Le succès qu'a eu le logiciel AUTOCAD a rendu ce standard largement utilisable pour échanger des modélisations de DAO principalement dans le monde de la micro-informatique. Ce standard permettait d'échanger sous forme numérique des plans de dessin industriel c'est-à-dire des entités géométriques bidimensionnelles, des annotations de dessin etc.

4.2.3.2. La norme internationale STEP

Les normes nationales et les standards industriels ont permis la résolution de certains problèmes d'échange et de partage de données. Toutefois, la création d'une norme internationale plus élaborée était nécessaire. La communauté internationale voulait regrouper dans cette norme tous les avantages des standards nationaux (IGES, PDDI, SET et VDA-FS) tout en palliant les inconvénients et limitations de ces derniers. Elle a été conçue de telle manière à être facilement extensible et réutilisable. Après un certain nombre de rencontres des acteurs internationaux, un consensus a été établi sur les grandes lignes de ce standard. L'objectif principal de ce standard est de représenter, sans aucune ambiguïté les données liées à l'ingénierie et aux produits, dans un format neutre, interprétable par tout système informatique, sans perdre cependant l'intégrité des données durant tout le cycle de vie d'un produit [Kem 99] [Pie 00]. Ce standard international est connu sous l'acronyme de STEP (STandard for Exchange of Product model data) et est enregistré au sein l'Organisation Internationale de Normalisation ISO sous la référence ISO 10303 [ISO 10303-1 94].

Pour atteindre son objectif, STEP a développé une nouvelle méthodologie de modélisation de données, pour assurer leur indépendance de tout système informatique. Cette approche comporte [Pie 00]:

- la définition d'un langage de spécification de données, le langage EXPRESS [ISO 10303-11 94],
- la définition d'un format neutre d'échange et de stockage des données décrites dans ce langage [ISO 10303-21 94].

De plus, STEP a établi des procédures permettant aux experts de chaque domaine technique de définir des modèles propres à leur domaine de spécialisation. Un certain nombre de modèles relevant d'aspects communs ont été également définis. Ainsi, plusieurs protocoles d'application, basés sur le langage EXPRESS, ont été définis au sein de STEP. Un protocole d'application ou AP (pour Application Protocol) définit toutes les données requises dans un domaine d'application particulier. L'approche suivie pour l'élaboration d'un protocole d'application permet ainsi que celui-ci soit une véritable capitalisation du savoir-faire des experts du domaine d'application visé. Il décrit les informations pertinentes dans un domaine technique donné ainsi que la structuration de ses données. Il spécifie également les différents sous-ensembles implantables (« classe de conformité ») ainsi que la manière de les mettre en oeuvre. Pour être conformes à STEP, les systèmes logiciels doivent être en mesure

d'interpréter toutes les données définies dans une classe de conformité d'un protocole d'application. Cela assure que toutes les données peuvent être traduites à l'entrée ou à la sortie de cette structure sans aucune perte.

Au fil du temps, l'apparition de nouveaux domaines d'activité a progressivement accru le nombre de protocoles d'application proposés par la norme STEP. Plus de 40 protocoles d'application ont ainsi vu le jour⁶. Les principaux domaines pris en compte par STEP sont actuellement la conception mécanique, la fabrication, l'électronique, la construction navale, l'architecture et le génie civil. Différents protocoles sont désormais dédiés globalement au domaine de la conception mécanique, les principaux permettent d'échanger des données relatives au dessin technique (AP201, AP202), à la modélisation 3D avec gestion des configurations (AP203), au calcul de structure par éléments finis (AP209), à la conception automobile (AP214), au calcul aérodynamique (AP237). Les protocoles d'application 203 et 214 sont restés pendant plusieurs années la référence en matière d'échange de données géométriques 3D, mais les évolutions des outils de CAO et des exigences des concepteurs ont rendu ces formats peu adaptés aux besoins émergents de ce domaine. Pour palier aux lacunes du protocole 203, des travaux sont actuellement menés par l'ISO dans le domaine des échanges de données CAO. L'AP203 Edition 2 devrait permettre l'échange de modèles géométriques non figés (modifiables et directement réutilisables) conservant les informations relatives aux données d'esquisse, de contraintes et de relations **[Pra 05]**.

Propriété de STEP

La norme STEP a pour objectif de proposer une représentation non ambiguë des données du produit interprétable par ordinateur durant tout son cycle de vie **[Blo 91]**. Elle permet le développement de systèmes d'information cohérents à travers de multiples applications et matériels. Cette norme propose également différents moyens pour le stockage, l'échange et l'archivage de données de produit à long terme **[Fow 95]**. Pour répondre à ces exigences, la norme STEP doit **[Cha 05]** :

- Définir un format neutre, interprétable par tout système exploitant un modèle géométrique et indépendamment du système ayant généré les données,
- Etre un standard multi applications traitant tous les produits manufacturés, tous les métiers et à tous les stades du cycle de vie d'un produit
- Etre un standard multi utilisations pour les échanges de données en définissant un format neutre permettant le stockage et l'archivage couvrant tout le cycle de vie du produit et la création de bases de données de produit, permettant l'intégration d'applications.
- Couvrir un très vaste domaine de connaissance correspondant à l'ensemble des catégories de produits (pièces élémentaires, assemblages, mécanismes, etc.), selon le point de vue de tous les métiers (mécanique, électronique, etc.), et à toutes les phases du cycle de vie (conception, calcul, fabrication, maintenance, démantèlement, etc.),
- Etre évolutive pour prendre en compte toutes les spécificités d'un nouveau domaine d'application,

Organisation des fascicules de STEP

Par souci d'organisation des données et pour simplifier la représentation de la norme, STEP se décompose en sous-ensembles ou fascicules **[Fer 98]** comme spécifié dans la Figure 13, à savoir :

1 : Concepts fondamentaux, qui décrivent les grandes lignes et la structure de la norme STEP.

⁶ <http://www.mel.nist.gov/sc5/soap/>

1x* : Méthodes de description des données. STEP utilise le langage de modélisation formel EXPRESS (sous forme textuelle ou graphique) [Sch 94], pour décrire comment les données relatives au produit doivent être représentées.

2x* : Méthodes d'implémentation (par exemple : fascicule 21 : définition du format neutre d'échange). STEP définit des méthodes d'implémentation de traitement des données (implémentation logicielle) qui permettent la conversion et la manipulation de données provenant d'un domaine d'application donné (à partir d'un fichier physique ou d'une base de données).

3x* : Méthodes de tests. Les méthodes de test de conformité (ATM : Abstract Test Method) spécifient comment un laboratoire d'essai vérifie la conformité des mises en oeuvre informatiques de la norme.

4x* et 1xx* : Définition des ressources dites intégrées génériques et applicatives (par exemple : fascicule 42 : entités de géométrie et fascicule 104 : entités d'analyse par éléments finis). Les ressources intégrées (Integrated Ressources) sont composées de ressources génériques indépendantes de tout contexte et de ressources communes d'application plus spécifiques à un groupe de domaines d'application. L'ensemble constitue une bibliothèque de définitions d'entités qui permettent de construire les descriptions des données d'un produit dans un protocole d'application.

2xx* : Protocoles d'application (AP). STEP est composé d'un ensemble de protocoles qui représentent différemment les données relatives au produit suivant le domaine auquel elles appartiennent (conception, calcul, etc.). Un AP est la référence pour l'implémentation d'interface d'échange entre les logiciels de XAO [Mac 94], [Har 00]. Les APs résultent de la sélection de certains IR pour les utiliser dans un contexte donné.

3xx* : Méthodes de tests définies pour les protocoles d'application. Les suites de tests abstraits (ATS) définissent les référentiels de test applicables aux mises en oeuvre informatiques des AP en vue d'établir leur conformité.

5xx* : Les AIC (Application Interpreted Construct) sont des bibliothèques de modèles complémentaires aux IR utilisables par plusieurs APs.

(*) Chaque sous-ensemble, regroupe un ensemble de fascicules, ou « part », le premier numéro du fascicule indique dans quel sous-ensemble il se situe.

STEP couvre un large éventail de domaines d'application dont l'étendue ne cesse de croître à mesure que s'expriment de nouveaux besoins industriels. De nouveaux fascicules de STEP sont en cours de développement. Ils adressent les problématiques d'échange de modèles non figés avec la prise en compte des données d'historique de construction, d'esquisse et la notion de features et la gestion de l'interopérabilité des environnements de GDT [Cha 05].

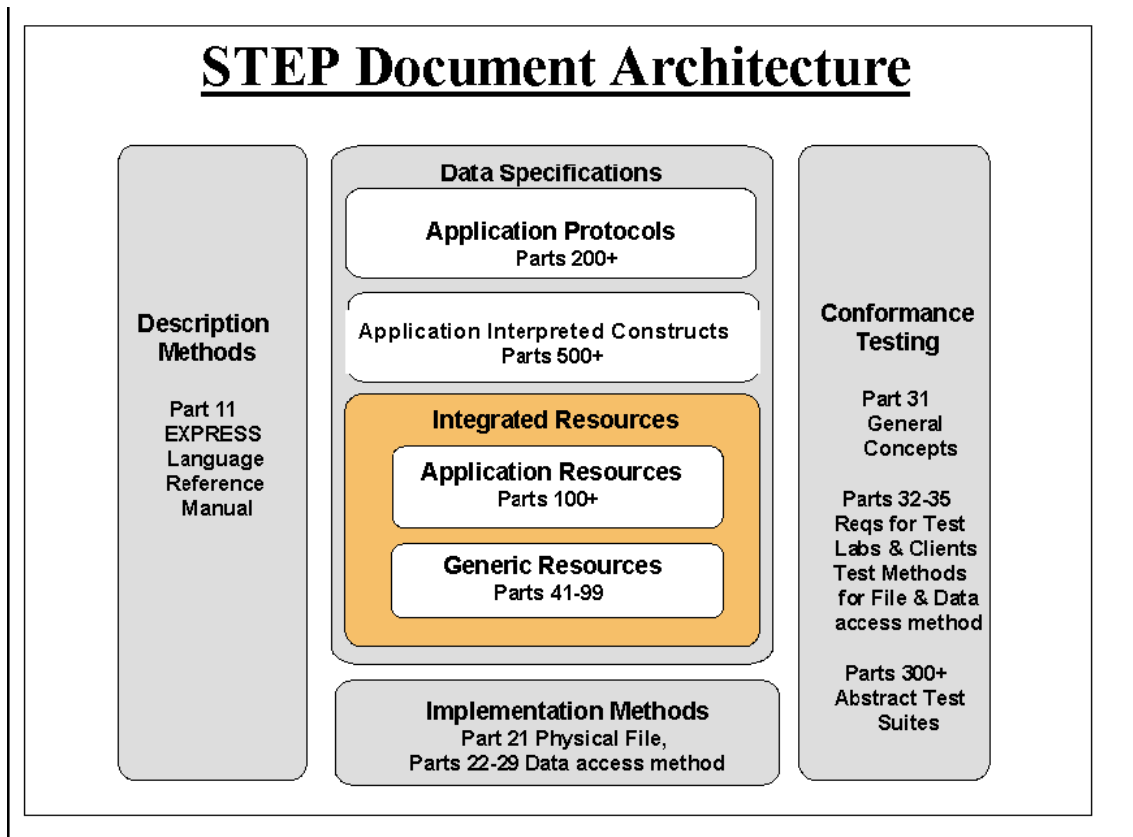


Figure 13 - Architecture de document de STEP [Kem 99]

Les protocoles d'application

Les protocoles d'application, « Application Protocols » (AP), sont des modèles de données STEP spécifiques à un domaine d'activité industriel ou à un métier et à une phase du cycle de vie d'un produit issu de ce domaine. Les protocoles d'application définissent des représentations formelles des données d'un domaine particulier qui sont rattachées à un modèle de produit intégré et partagé par tous les autres protocoles d'application. Ce modèle de produit intégré n'est autre que les ressources intégrées (Integrated Ressources - IR) qui ont pour mission d'assurer l'interopérabilité entre les différents protocoles d'application par la mise en commun de concepts. Les protocoles d'application représentent en quelque sorte l'aspect « implémentable » de la norme STEP.

Les domaines couverts par un protocole d'application sont souvent très vastes, ce qui complique grandement leur implémentation. C'est pourquoi les protocoles d'application sont découpés en plusieurs sous-ensembles de fonctionnalités distincts appelés classes de conformité. Chaque classe de conformité est constituée d'un regroupement d'une ou plusieurs unités de fonctionnalité (Units of Functionality - UoF).

Bien que les protocoles d'application soient fondés sur les mêmes ressources génériques, il est quelques fois fastidieux d'échanger des données d'un protocole à un autre. Des travaux ont été menés dans l'objectif de définir une approche systématique pour l'implémentation de l'interopérabilité entre les protocoles d'application de STEP [Zha 98a].

Futur de STEP

STEP est au coeur d'un grand nombre de projets et travaux de recherche [Dem 98]. L'engouement actuel pour les technologies Internet a changé l'approche d'implémentation de la norme. De nombreux travaux tentent de rapprocher STEP d'Internet [Zha 00], [Che 04].

En dehors du contexte d'utilisation de STEP via Internet, la norme reste au coeur d'une grande variété de projets, tels que la définition de modèle multi-vues [Chi 02], de modèle générique dans un contexte d'ingénierie simultanée [Cha 93], [Goh 96] ou de modèle de gestion de données produit [Yeh 00].

STEP compte plusieurs avantages parmi lesquels nous pouvons citer :

- promouvoir la réutilisation des connaissances interdisciplinaires
- être une des meilleures alternatives pour l'échange de données via son format neutre, dans les domaines de la XAO en général

Mais en dépit des nombreux succès remportés par STEP dans divers domaines, il est confronté à plusieurs difficultés, notamment :

- une énorme quantité d'information à gérer, qui continue toujours de s'élargir en particulier avec l'utilisation d'Internet et l'apparition de nouveaux domaines techniques avec pour conséquence une difficulté pour maîtriser les concepts et assimiler l'existant
- STEP reste relativement peu utilisé (seulement les APs 203 et 214) par rapport aux objectifs nombreux et ambitieux fixés lors de sa création.
- un processus de normalisation lourd et lent qui ne suit pas l'évolution très rapide de nouveaux formats d'échange qui ont fait leur apparition sur le web, notamment le format XLM.

4.2.3.3. Développement des nouveaux standards

Les standards associés à STEP et leurs enrichissements récents vont tous vers une meilleure description de la sémantique du produit, indispensable dans le PLM. Ils ne représentent qu'un aspect dans les nouveaux développements de standards PLM. De plus, les langages tels que XML et UML fournissent un environnement syntaxique riche et standardisé pour capturer cette sémantique. Une extension d'UML appelée SysML est en cours de développement en vue de décrire l'information d'ingénierie système de façon standardisée.

Le format XML

Le XML (eXtensible Markup Language) est un langage constitué de balises ou tags, mis au point par le XML Working Group sous l'égide du World Wide Web Consortium (W3C) en 1996. Il est destiné à la structuration de documents. En 1998, les spécifications XML 1.0 sont devenues des recommandations. De part son balisage, le formalisme de représentation du XML se rapproche de celui du HTML (plus précisément du SGML, ancêtre du HTML) mais diffère dans la mesure où les balises sont définies par l'utilisateur et non prédéfinies. En effet, il est possible à l'aide d'un langage de méta-modélisation spécifique à XML d'écrire des DTDs (Document Type Definition) qui permettent de définir le vocabulaire et la syntaxe des balises et de leurs attributs ainsi que la façon dont elles doivent être structurées.

Le XML présente de nombreux avantages. Il est :

- **Lisible** : aucune connaissance approfondie n'est requise pour comprendre le contenu d'un document XML
- **Extensible** : un document XML doit pouvoir être utilisable dans tous les domaines d'applications ;
- **Auto-descriptif** : un document XML est toujours accompagné d'un document qui explique comment le lire ;
- **Structuré de façon arborescente** : il permet de modéliser la majorité des documents informatiques ;

- **Universel et portable** : il prend en compte les différents jeux de caractères ;
- **Déployable** : il peut être facilement distribué via les protocoles capables de transporter du texte, comme http par exemple ;
- **Facilement intégrable** : un document XML est utilisable par toute application pourvue d'un parseur (c'est-à-dire un outil permettant d'analyser un code XML).

XML et STEP

Les performances d'Internet en matière de partage et de diffusion d'information ne sont plus à démontrer. C'est pourquoi la norme STEP tend à évoluer dans cette direction [Cha 03]. Certains des travaux menés actuellement par l'ISO ont pour objectifs de rapprocher le formalisme de STEP de celui de XML qui présente l'avantage d'être adapté à Internet et de ce fait au partage d'informations à grande échelle.

C'est pour répondre à ce besoin que le PDML (Product Data Markup Language) [Bur 01] est né. Ce langage fusionne STEP et le format XML. PDML s'appuie d'une part sur STEP pour ses méthodologies de modélisation et d'intégration des besoins et informations techniques. D'autre part, il exploite XML pour sa grande compatibilité avec Internet et en raison du fait qu'il permet de définir une grammaire et une syntaxe spécifiques. PDML compense les lacunes de STEP en adaptant EXPRESS à la philosophie des langages XML qui facilite l'échange de données en utilisant un vocabulaire et des définitions propres à ceux qui ont généré les données, tout en faisant en sorte qu'elles soient compréhensibles et récupérables par tous.

4.2.3.4. Harmonisation des standards existants

Ces dernières années ont été marquées par le développement intensif de standards en parallèle. La conséquence est qu'on se retrouve avec plusieurs standards dans des domaines qui se chevauchent souvent. Cette situation est appelée à s'intensifier du fait de la disponibilité d'Internet et de ses innombrables possibilités de connexions entre systèmes et utilisateurs.

De fait, il n'existe plus d'autorité unique pour le développement de standards ouverts. Certains organismes comme le W3C et l'OMG ont acquis dans ce domaine un statut comparable à celui de l'ISO avec en plus un temps de développement plus court (car le standard n'est pas soumis à un processus d'évaluation lent comme dans l'ISO).

Bien que cela présente des avantages certains, il est indéniable qu'une coordination des efforts dans le développement des standards est devenue indispensable.

L'absence d'une telle coordination conduirait à une situation anarchique qui va à l'encontre même du développement de standards ouverts.

La solution serait une harmonisation des travaux de standardisation. Cette harmonisation ne devrait toutefois pas stopper ces efforts innovants mais plutôt les laisser se développer jusqu'à un certain stade de maturité pour ensuite les coordonner. Cette tâche n'est pas toujours possible ni facile aussi bien du point de vue technique que politique mais elle demeure la seule solution pour un développement fructueux et harmonieux des standards dans le domaine du PLM.

4.2.4. Vers une typologie des standards PLM

Le développement des systèmes PLM a modifié les mécanismes de communication entre les différents domaines et métiers impliqués, depuis l'échange de simples données produit telles que les données de CAO, vers l'échange de l'information et des connaissances multimétier du produit. Ceci a nécessité la mise en place et l'utilisation de plusieurs types de standards.

Plusieurs typologies des standards PLM ont été proposées :

1. *Selon la phase du cycle de vie* : il y-a eu des standards utilisés respectivement dans les phases de : (a) développement, (b) production, (c) utilisation, (d) identification liée à la traçabilité du produit le long de son cycle de vie [Ter 05].
2. *Selon la portée du standard* : il existe des standards de différents type : (a) standards pour les meilleures pratiques commerciales PLM, (b) standards développés pour les applications spécifiques, (c) modèles de données standardisés pour la représentation des données produit et (d) standards de différents domaines [IyG 05]
3. *Selon l'origine du standard* : il existe : (a) des standards ouverts, (b) des standards industriels et (c) des standards de fait qui sont les plus utilisés et les mieux acceptés, ils résultent généralement d'un très large consensus [Pea 04].
4. *Selon le processus de développement du standard*: il existe (a) des standards de fait, (b) des standards créés par des organismes de régulation pour garantir l'uniformité des processus de standardisation, (c) des standards de consensus développés et utilisés par des organismes volontaires de développement de standards ou SDO (Standard Développement Organisations) [AIS 00].
5. *Selon l'objectif du standard* : pour garantir que les matériaux, les produits, les processus, les représentations et les services sont bien représentés et bien exprimés à travers ces standards. On distingue dans cette typologie : (a) les standards métriques et de mesures, (b) les standards orientés processus ou standards prescriptifs ou normatifs, (c) les standards basés comportement (d) les standards d'interopérabilité [AIS 00].

Dans ce qui suit, nous présenterons une typologie hiérarchique des standards. Les standards cités pour chaque type seront classifiés selon l'origine, l'objectif, le processus de développement et la portée, comme spécifié dans la typologie précédente.

La typologie hiérarchique présentée ici est basée sur celle présentée initialement dans [Esw 06].

4.2.4.1. Type Zéro : standards de langages d'implémentation

Ces langages standardisés incluent des langages de programmation, des langages de script, d'assemblage et d'autres types de langages informatiques utilisés pour implémenter les standards de type *Un*, *Deux* ou *Trois* ci-dessous. Des exemples de tels langages sont : Basic, Fortran, C, C++, Java, Prolog, Perl, OpenGL, etc.

4.2.4.2. Type Un : standard de modélisation de l'information

Sont des standards de langages de modélisation sémantiquement riches, basés sur différentes formes de logique qui permettent un raisonnement automatique sur les informations d'un domaine. Des exemples de ce types sont: le langage KIF (Knowledge Interchange Format)[KIF 05], le langage RDF (Ressource Description Framework) [RDF 05], et le langage OWL (Ontology Web Language) [OWL 04]. Le langage OWL utilise une syntaxe RDF/XML et se décline en trois versions différentes selon le degré d'expressivité et de complexité : OWL Lite, OWL DL et OWL Full. Le but ultime de ces efforts étant la construction d'ontologies formelles pour assurer l'interopérabilité sémantique.

On distingue également les langages EXPRESS et UML. EXPRESS est utilisé par les systèmes basés STEP [ScW 94], tandis qu'UML [Boo 00] (Unified Modeling Language) était utilisé au départ pour la spécification et la description des composants de systèmes logiciels, il

fut généralisé par la suite dans la modélisation industrielle et dans d'autres domaines que le génie logiciel. UML est basé sur une méthodologie orientée objet.

Le Schéma XML est connu pour exprimer la structure et le typage des données contenues dans les documents XML avec une plus grande expressivité que son prédécesseur le DTD (Document Type Definition).

Dans cette catégorie se trouve également le langage PSL (Process Specification Language) [PSL 05] qui est une initiative du NIST pour la standardisation de la représentation des processus industriels de fabrication. PSL utilise la logique du premier ordre ainsi que des représentations proches de OWL.

4.2.4.3. Type Deux : Standards de contenu : domaines de discours

Les standards de contenu concernent les modèles d'information spécifiques à certains domaines. Ils utilisent un langage de modélisation générique (Type Un) ou une extension. Un exemple de ce type est le langage SysML (System engineering Modeling Language) qui est une extension d'UML spécialisé dans la description des systèmes d'ingénierie [Boc 04]. Les standards de contenu peuvent utiliser les langages Type Zéro pour leur implémentation.

Les standards de contenu se subdivisent en plusieurs catégories selon la spécialisation du domaine décrit, on distingue :

- **Les standards de modélisation et d'échange de l'information produit** : tels que le standard ISO 10303 plus communément connu sous le nom de STEP (STandard for Exchange of Product model data) [Kem 99]. STEP utilise le langage de modélisation EXPRESS pour définir un modèle de produit générique. STEP utilise une approche de découpage modulaire dans laquelle les modèles d'information constituent des modules et des ressources intégrées (IRs) à partir desquels des standards de contenu spécifiques ou APs (Application Protocols) sont définis. Ces standards spécifiques peuvent utiliser les catalogues de données spécifiques.
Des exemples de ce type sont l'AP214 et l'AP239. Ce dernier plus connu sous le nom de PLCS (Product Lifecycle Support) est basé sur une extension de STEP PDM schéma [SPDM 05], il est dédié à la description des produits complexes (domaines navals et aéronautiques entre autres)
- **Standards d'échange d'information** : des protocoles et des schémas basés XML sont développés pour l'échange d'information entre différents partenaires. Des exemples de standards d'échange d'information sont l'EDI (Electronic Data interchange) et le SOAP (Simple Object Access Protocol) [SOAP 05]. Parmi les versions spécialisées de ces standards d'échange, on distingue : (a) STEPml [SML 05] : une bibliothèque de spécifications XML basés sur le contenu de modèles STEP, (b) Le PDML (Product Data Markup Language) [PDML 05], PDML fait partie du projet PDI (Product Data Interoperability) [JEPCO 05] ; (c) PLM XML [PLMXML 05], un ensemble de schémas XML servant de protocole de transport et (d) BPML (Business Process Modeling Language) [BPML 05], un méta langage pour la modélisation de processus industriels...
- **Standards de visualisation de produit** : on en distingue plusieurs : le standard graphique U3D est un format simple pour la visualisation interactive et le partage de données 3-D [Pea 04], le standard X3D [W3D 05] est un standard basé XML pour la communication interactive de données 3D, JT Open est une bibliothèque de classes java supportant les modèles de programmation Internet et le modèle client-serveur, OpenGL (Open Graphics Library) [OGL 05] est une bibliothèque graphique de bas niveau pour la visualisation de données 3D et OpenML (Open Media Library) [OML 05].

- **Standards de e-business et chaîne logistique :** plusieurs extensions de XML ont été développées dans le but de décrire les activités associées aux applications de différents organismes industriels. Des exemples de ce type sont : ebML (e-business Markup Language) [ebXML 05] qui remplace l'EDI dans le domaine du e-business, cML dans le domaine du commerce [cXML 05], CML (Chemical Markup Language) [CML 05] et MatML (Material Markup Language)[MatML 05].
Dans le domaine des chaînes logistiques (supply chain), on distingue plusieurs standards : RosettaNet [SML 05] est une interface de standardisation alignant les processus existant entre partenaires d'une chaîne logistique. Le standard IPC-2570 [IPC257 05] est un effort complémentaire pour promouvoir l'intégration d'applications.
Le modèle de référence SCOR [SCOR 05] définit les métriques standards pour mesurer les performances des processus et les pratiques de gestion. Le modèle VCOR (Value Chain Operational Reference Module) [VCOR 05] en est un nouveau modèle dont le but est de fournir une approche unifiée et universelle pour l'analyse organisationnelle et l'aide à la consolidation des processus de l'entreprise.
- **Standards de sécurité :** ces standards s'intéressent aux questions cruciales de droit de propriété intellectuelle et de sécurité des informations. Le DRM (Digital Right Management) fait référence aux technologies développées spécialement pour la gestion des droits digitaux. Le XrML (eXtensible right Markup Language) procure une méthode universelle pour la spécification des droits et l'établissement des conditions associées à l'utilisation et la protection du contenu des propriétés intellectuelles [XrML 05].

4.2.4.4. Type Trois : Standards d'architecture logicielle

Pour parvenir à l'interopérabilité entre systèmes dans le contexte du PLM, il est impératif de concilier et faire converger les différents types de standards décrits précédemment, et ce, en tenant compte de l'aspect architecture dans la création de systèmes intégrés.

Les travaux qui existent dans ce domaine proposent des environnements de développement. Ils n'abordent pas encore la gamme complète des points de vue nécessaires pour résoudre les problèmes d'interopérabilité.

Parmi les standards les plus intéressants dans ce contexte est l' ISO RM-ODP (ISO Reference Model for Open Distributed Processing) [DSTC 05] qui a été utilisé pour la gestion des applications distribuées CORBA. Il définit cinq points de vue architecturaux qui abordent un large spectre de problèmes concernant l'interopérabilité : le point de vue de l'entreprise, le point de vue de l'information, le point de vue de l'informatisation (computational), le point de vue d'ingénierie et le point de vue technologique.

4.2.5. Convergence des standards PLM

La structure actuelle des standards développés pour le PLM montre un état fragmenté et à couverture incomplète. Ces standards sont souvent incompatibles du fait qu'ils ont été développés par des approches ascendantes qui découlaient directement des besoins localisés des vendeurs de systèmes PLM. Ceci a conduit à l'absence d'interopérabilité à travers les multiples phases et les fonctions du PLM. Ce problème est en passe de devenir le talon d'Achille dans l'intégration des systèmes PLM.

L'importance de l'interopérabilité pour assurer l'intégration des activités du cycle de vie produit est un facteur stratégique qui a été reconnu par bon nombre d'institutions dont le NIST, le département de défense américain (US DOD) et les ministères européens de la défense. Plus récemment, par les vendeurs/fournisseurs de systèmes PLM et même par les utilisateurs finaux (clients) [LISI 98], [Sri 04].

Le constat d'absence de l'interopérabilité se heurte à un problème ardu : la divergence des intérêts sur la façon de réaliser une telle interopérabilité. Le principal défi dans ce sens est la création de standards et de protocoles qui assurent l'interopérabilité entre les systèmes classiques existants et les innovations technologiques actuelles et futures.

Dans le contexte du PLM, le besoin de standards à différents niveaux devient critique pour faciliter le processus d'échange d'information. Devant la grande diversité des partenaires et des applications qui s'inscrivent dans les systèmes PLM, il est quasiment impossible qu'un organisme unique puisse résoudre le problème de l'interopérabilité. Pour ces raisons, la plus grande part de l'information stable inhérente au PLM devrait être prise en charge par des standards ouverts développés par des organismes de standardisation et des consortia dont les conditions d'adhésion sont suffisamment souples et ouvertes pour en garantir l'accessibilité à tous et la participation de tous. Des consortia tels que : l'IETF (Internet Engineering Task Force), le W3C (World Wide Web Consortium), OASIS (Organization for the Advancement of Structured Information Standards), les organismes formels de standardisation :SDOs (Standard Development Organizations) tels que l'ANSI (American National Standards Institute) et l'ISO (International Organization for Standardization) etc. Krechmer [Kre 05] donne des définitions plus détaillées sur les standards ouverts, les standards open source et les standards à architecture ouverte et définit dix droits qui autorisent des standards ouverts.

Les incompatibilités et les écarts qui existent actuellement entre les standards se retrouvent à différents niveaux. Ils peuvent être expliqués par la différence de typologie. L'incompatibilité peut également être le résultat de l'implémentation par des choix de langage type zero différents. Le choix des formalismes de représentation des standards est une autre source d'incompatibilité.

Les écarts entre standards sont expliqués par la différence des domaines de discours et la portée des standards dans le spectre PLM.

Il apparaît clairement à partir de la Figure 14 qu'il n'existe pas actuellement de standard qui couvre l'ensemble des activités du PLM. La plupart des standards connus dans ce domaine n'en couvrent que certains aspects seulement.

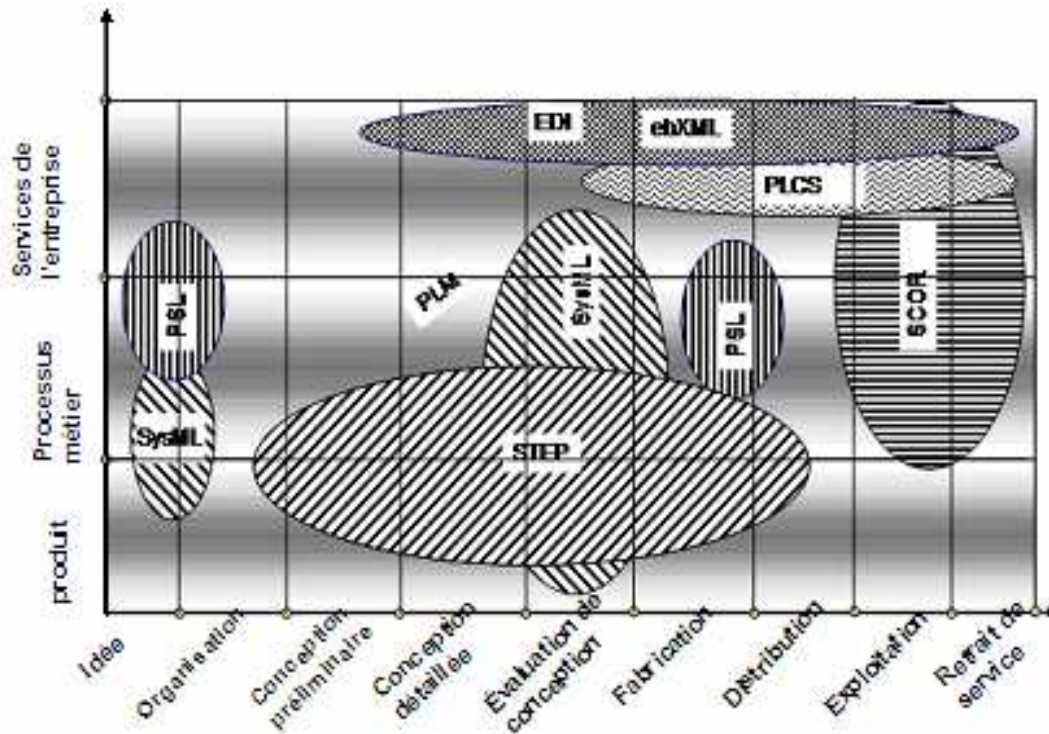


Figure 14 – Standards courants dans le PLM et leur couverture [Esw 06]

4.2.6. Conclusion de l'approche par standards

A mesure que le type et la portée des standards requis pour le PLM deviennent plus clair, et, avec l'émergence de nouveaux modèles dans le monde distribué d'Internet, il y-a un intérêt croissant pour les standards ouverts et d'accès libres (open source) [Web 04]. L'approche proposée par IETF (Internet Engineering Task Force) pour les standards ouverts assure que la propriété d'ouverture n'est pas seulement pour une organisation mais pour tous ceux qui en sont suffisamment sensibilisés pour participer au processus de standardisation.

L'affiliation à ces organismes est volontaire, seule compte la réputation du participant à travers des contributions fiables et utiles. La participation active conduit à un gain en puissance et en influence au sein du groupe.

Le succès du standard ouvert et à accès libre est dû à la reconnaissance de la large portée et la grande diversité des participants. A travers une conception modulaire du standard, chaque participant apporte sa propre contribution, ce qui minimise les coûts des décisions globales et mobilise des individus aux compétences diverses.

Le développement de standards PLM nécessite la participation de plusieurs profils de personnes aux compétences et aux expériences diverses. Ces personnes ne peuvent être rassemblées dans un seul endroit virtuellement ou réellement pour créer un ensemble centralisé de standards. Les standards sont mieux créés par un processus ouvert à travers un mode de participation volontaire. Les expériences de développement de standards antérieures dans des environnements distribués ont prouvé leur efficacité en tant qu'alternatives au processus de création d'un consensus.

Qui serait responsable de la création de ces communautés est une question ouverte. Plusieurs standards ouverts ont été créés par des individus ou des groupes d'individus. Certains de ces efforts impliquent des zones régionales entières de développement économique. Les bénéfices des approches ouvertes combinés aux réseaux de communication sont substantiels aussi bien du point de vue social que culturel, en permettant à des organismes universitaires et

industriels, des laboratoires de recherche de puiser aux mêmes sources en minimisant les incompatibilités et en augmentant les capacités d'innovation et de création de systèmes plug and play. Cette approche entretient et consacre l'innovation au niveau modulaire sans nécessité de reprise intégrale du système qui accroîtrait les coûts de création, de maintenance et d'archivage de l'information. Les standards ouverts libres d'accès sont la solution la plus pratique à ces problèmes.

Les institutions comme le NIST peuvent jouer un grand rôle dans ce sens. Le NIST via son programme MIPE (Manufacturing Interoperability Program of the Manufacturing Engineering) se concentre actuellement sur la convergence des standards. Au-delà de la convergence des différents types de standards décrits précédemment, des standards spécialisés dans d'autres aspects du produit sont à l'étude. Ainsi, la traçabilité, la validation, la vérification d'autres fonctions prises en considération pour les systèmes PLM sont étudiées [Den 05]. Un bon exemple de cet effort est le modèle de référence OAIS qui facilite une plus large compréhension de ce qu'il faut préserver et de l'accès à l'information à long terme [CCSDS 5].

4.3. Intégration par les données métier techniques

De nos jours, les produits techniques sont de plus en plus complexes et leur conception nécessite la participation de plusieurs acteurs (mécanicien, automaticien, électricien, maintenicien...). Ces différents acteurs doivent travailler de façon concurrente et simultanée à partir de modèles communs ou spécifiques, généralement tous appuyés sur un concept fondamental : la caractéristique de forme ou *form feature*.

4.3.1. Les features dans le cycle de vie produit

La conception et le développement de produits mécaniques constituent le cœur de beaucoup d'industries. Ces activités utilisaient principalement, à leurs débuts, des modeleurs géométriques pour décrire la forme d'un produit. Les modeleurs géométriques peuvent être utilisés pour définir uniquement la géométrie nominale de la pièce. Les informations sur l'état de la surface finie, les tolérances permises, les propriétés du matériau, les conditions de fonctionnement, etc. sont des éléments importants dans la définition d'une pièce, mais ils ne sont pas disponibles dans la base de donnée d'un modeleur de CAO. Ces représentations ont vite montré leur faiblesse : elles ne fournissaient qu'une sémantique de bas niveau et ainsi, ne tenaient pas compte des besoins des application en aval de la conception telles que la fabrication, la mise en service etc. (voir chapitre 1)

Aujourd'hui, et pour pallier ce manque, un nouveau type de modélisation qui couple la forme et les différentes sémantiques manipulées dans le cycle de vie d'un produit, est utilisé, à savoir : la modélisation produit. Elle consiste donc à décrire un produit non pas uniquement comme un objet purement géométrique mais aussi en fonction d'un certain nombre de caractéristiques véhiculant :

- des informations géométriques.
- des informations technologiques (rainure, poche, trou, etc...) qui donnent une vue plus complète sur tout ou une partie d'une forme géométrique.
- Des informations de précision, qui explicitent par exemple les tolérances de fabrication par rapport à la forme idéale.
- Des informations matérielles, qui donnent le type de matériau ainsi que ses propriétés.
- Des informations administratives, qui facilitent la gestion du produit.
- ...

Ce type de modèle peut être vu comme étant un modèle multi facettes où chaque facette représente une vue d'un métier intervenant dans la définition du produit. Un tel modèle implique donc une centralisation de plusieurs applications métiers autour d'un noyau unique qui est la forme géométrique du produit.

Afin d'atteindre ces objectifs, un nouveau concept appelé *caractéristique de forme (form feature ou features)* a été introduit pour fournir aux différents acteurs du cycle de vie d'un produit un langage adapté à la description de leurs diverses sémantiques. Ces caractéristiques de forme sont définies comme étant des *groupements d'entités géométriques avec une sémantique caractéristique à un point de vue*. Les features ont donc pour objectif de réaliser un couplage fort entre des groupements d'entités géométriques et une sémantique spécifique d'un point de vue, d'un métier particulier. La géométrie d'un produit est alors une synthèse des éléments géométriques correspondant aux différents points de vue appliqués à ce produit [Teh 99].

4.3.2. Technologie des features

4.3.2.1 Origines et définitions des features

Le terme feature trouve ses origines dans la fabrication où il a été défini comme une géométrie correspondant à des opérations d'usinage de base [Gray 76].

Les features sont définies plus généralement comme un ensemble d'informations utilisées dans le processus de raisonnement des différentes phases de l'ingénierie du produit [SBH 88].

Globalement, les features peuvent être vues comme des régions de la pièce avec une sémantique technologique. Ces régions peuvent être décrites par : des paramètres et des énumérations d'entités géométriques les composant. La sémantique technologique signifie la fonction du feature, son processus de fabrication ainsi que des procédures d'évaluation de sa conception ou sa fabrication telle que l'estimation de son coût [Koc 92].

4.3.2.2. La modélisation à base de features

Les systèmes de modélisation à base de formes features sont passées chronologiquement par 3 phases essentielles (voir chapitre 1 pour plus de détails): la reconnaissance automatique de features, la conception par les features, la conversion de features et enfin les systèmes hybrides qui combinent deux ou plusieurs des approches précédentes.

1) La reconnaissance automatique des features.

Cette approche est la première à fournir des features, pour un point de vue donné. Elle consiste à extraire des features propres à ce point de vue à partir d'un modèle géométrique. Il existe une multitude de travaux dans ce domaine (voir chapitre 1) [Gar 90], [Lee 87], [Reg 93], [Reg 95], [Han 96].

Ce processus d'analyse de la forme géométrique pour retrouver et reconnaître des formes caractéristique a été aussi largement étudié, mais uniquement pour un seul point de vue (généralement l'usinage).

2) La conception à base de features

Chaque métier intervenant dans la conception d'un produit peut être doté d'un processus de conception à base de features qui génère des features de ce point de vue. Les features sont disponibles à partir de bibliothèques de formes paramétrées.

Parfois, les formes générées à un instant donné du processus de conception se révèlent significatives pour un nouveau point de vue, mais parfois c'est l'inverse et pour pouvoir passer à un autre point de vue, on a recours à des « traductions » ou conversions du produit d'un point de vue à un autre. C'est l'objet de l'approche de conversion [Lub 92], [Scl 94].

3) La conversion de features.

La conversion suppose l'existence d'un modèle de feature spécifique à un point de vue et le convertit en un modèle correspondant à un autre point de vue. Cette approche s'avère très utile pour un environnement de modélisations multi-vues puisqu'elle permet la simultanéité et la coexistence entre plusieurs vues. Sa mise en œuvre n'est pas toujours aisée d'un point de vue à un autre mais elle est facilitée par l'adoption d'un modèle commun réunissant les features significatifs pour plusieurs points de vue. Plusieurs travaux ont été développés dans ce sens [Teh 99], [SHL 93],[Sha 88b].

4) Les approches hybrides.

On notera que toutes les approches précédemment citées présentent des avantages et des inconvénients. Il serait alors intéressant d'essayer de tirer profit des avantages respectifs de chaque approche en adoptant des systèmes hybrides. En effet, la reconnaissance de features est un complément indispensable de la modélisation par features, mais qu'il ne peut être question d'avoir pour objectif d'éliminer cette dernière. La reconnaissance sera utilisée par exemple au départ pour identifier les features propres à un point de vue, et pour pouvoir optimiser la conception, on peut envisager de mémoriser les features reconnus et enrichir des paramètres propres au point de vue utilisé et faire directement la conception par ces features déjà reconnus, la reconnaissance se limitera seulement à identifier et compléter ce qui n'a pas encore été reconnu. Dans la plupart des travaux qui utilisent cette approche, on retrouve le plus souvent la reconnaissance de features couplée avec la conception à base de features [Han 95] [Gad 93].

4.3.2.3. Les différents types de features

Il existe différents critères de classification de features : les critères morphologiques (sur la forme et la géométrie de la feature) et les critères fonctionnels (selon la phase du cycle de vie et les domaines d'applications).

Les features peuvent être définies comme étant des formes géométriques pertinentes pour une ou plusieurs activités de conception ou de fabrication (fonction, fabricabilité, analyse des structures, conception d'outillage et de moules, critères de services, etc.) [Cun 88].

Les définitions sont de plus en plus associées aux domaines d'applications où des efforts d'unification sont constatés. Dans de nombreux domaines, des features ont été définies, répondant aux critères et aux habitudes de raisonnement du domaine concerné tel que l'usinage, le moulage, la tôlerie. Le lien des features avec les différentes activités du cycle de vie d'un produit est de ce fait trivial.

- En conception, elles représentent les éléments utilisés pour générer, analyser et évaluer la conception. Dans [Her 90], les auteurs les définissent comme un groupement d'entités géométriques ayant une signification dépendante d'une certaine activité.
- En fabrication, elles sont considérées comme des formes et des attributs technologiques associés aux opérations et outils de fabrication [Cho 84] définissent les

features d'usinage comme une portion de la pièce générée par un certain mode de coupe du métal.

Des features particuliers ont été définis pour la conception de moules [Kru 89], pour la conception par extrusion [Duf 88], pour la conception de surfaces fonctionnelles complexes [CAV90], pour permettre une analyse performante par éléments finis [Lib 86], pour répondre à la fabricabilité d'une pièce moulée par injection [Vag 85], pour déterminer des gammes de contrôles [Bro 90] etc.

Tous ces features répondent à des définitions analogues: une forme géométrique et une sémantique pertinente pour le spécialiste du domaine.

Le même feature peut avoir des significations différentes suivant la phase considérée dans le cycle de vie du produit. En phase de conception, il est appelé feature de forme en terme de sa géométrie, et feature fonctionnel en terme de ses spécifications et ses détails afin de remplir certains besoins fonctionnels. En phase de planification pour l'usinage il est appelé feature de fabrication.

D'autres auteurs les ont étudiés sur la base du type d'information qu'elles véhiculent [Sha 88a], [Cun 88] [Den 02a]. On retrouve ainsi, en plus des features de formes les features :

- de précision (déviations par rapport à une taille nominale),
- technologiques (paramètres de performance),
- de matériau (composition, traitement, ...)
- d'assemblage (relation cinématiques, surfaces d'interaction ...).

4.3.3. Approche d'intégration à base de features

Les différentes approches d'intégration dans une perspective PLM qui sont basées sur les features découlent du constat que différents points de vue métier partagent la même description du produit en terme de features de forme et que chaque point de vue l'enrichit par ensuite par une sémantique spécifique. A partir de là, l'idée est venue de vouloir intégrer ces différents points de vue afin de tirer profit des aspects communs et de ne pas les dupliquer à chaque fois. Cette approche serait très profitable vu que les produits techniques tendent à devenir de plus en plus complexes et que par conséquent, leur conception nécessite la participation et la collaboration de plusieurs acteurs (mécanicien, automaticien, électricien, maintenicien...). Les approches d'intégration proposent à ces différents acteurs de travailler sur des modèles communs, puis de les enrichir de connaissances spécifiques si besoin est. L'intégration peut se faire de différentes façons : en standardisant les features et en les adaptant aux différents contextes d'utilisation, ou encore en montrant à travers des exemples comment l'intégration s'effectue entre deux ou plusieurs points de vue métiers.

4.3.3.1. Les Standards, les classes et les hiérarchies de features

Un des objectifs primaires de la recherche sur les features était l'intégration entre la CAO et La CFAO. Cela a généré une attention et un intérêt de la communauté des standards pour définir des classes de features standards. L'objectif de la standardisation est de trouver un consensus sur les classes de features pour permettre l'intégration des applications et surtout l'échange de données entre les applications métiers au niveau des features.

A partir du moment où l'intégration à base de standards est possible, pourquoi ne pas intégrer en se basant sur le concept même de feature. Nous verrons cette possibilité avec le standard STEP (pour plus de détails sur STEP voir la section 4.2 de ce chapitre). STEP est le Standard international pour l'échange de modèles de données de produit développé par l'ISO (International Organization for Standardization)[ISO 10303-1 94].

La description de donnée dans STEP est guidée par la définition d'un modèle d'informations avec le langage de modélisation de données EXPRESS [ISO 10303-11 94], [ISO 10303-11 00] pour chaque type de données nécessaire. Une fois le modèle d'information défini, les données pour représenter un produit spécifique peuvent être représentées en utilisant les règles de STEP pour transformer EXPRESS en un fichier physique. Le modèle EXPRESS définit les entités de données décrivant des classes d'objets dans le domaine.

4.3.3.2. Définition des features dans STEP

Un moyen pour décrire des classes génériques de features est en train d'évoluer dans la communauté de standardisation. La Partie 48 de STEP traite la caractérisation et la représentation des features de forme "Form Features" pour couvrir une variété de formes ayant un intérêt industriel.

L'idée de base derrière ce document c'est que les données des features apparaissent à trois niveaux d'abstraction:

1. Les features d'application ont des connotations spécifiques à un domaine qui ne sont pas directement associées à leur forme.

Exemple:

Une caractéristique d'application dite "trou d'assemblage" contient aussi bien des informations fonctionnelles (serrage dans un assemblage) que des informations sur le procédé de fabrication (le trou peut être un perçage).

2. Les features de forme (form features): sont des propriété de forme générique d'un produit avec aucune connotation métier et aucune présomption sur leur représentation.

Exemple:

Une coupe transversale circulaire peut être le nom d'une caractéristique de forme décrivant un trou d'assemblage.

3. Les représentations des features de forme: Elles sont employées pour représenter les propriété de la forme.

Exemple :

Un balayage d'un profil circulaire peut être utilisé pour modéliser la caractéristique de forme appelée coupe transversale circulaire.

Le protocole d'application 224 de STEP a pour but de définir des produits mécaniques pour la planification des processus en utilisant les features de forme. Ce protocole d'application bâtit des mécanismes en se basant sur la représentation générique et définit des features de forme spécifiques associées à la forme d'une pièce donnée. Ces features de forme spécifiques peuvent être ainsi utilisés en fabrication. Ce document fournit une définition des features d'usinage pour faciliter l'identification des formes de fabrication interprétables par l'homme et la machine. Avec ce protocole, les features d'usinage sont une classe de formes représentant les volumes à enlever de la pièce par usinage.

4.3.3.3. Exemple d'intégration à base de features entre différents points de vue métiers

L'approche d'intégration par les features que nous allons montrer ici est basée sur l'idée d'une géométrie commune partagée entre plusieurs applications du cycle de vie. La géométrie d'un produit est alors vue comme une synthèse des éléments géométriques correspondant aux différents points de vue appliqués à ce produit. Chaque acteur dans le cycle de vie a son

propre langage de description du produit, basé sur les features. Ainsi, on pourrait voir le produit comme une superposition de plusieurs modèles à base de features décrivant chacun un point de vue métier donné. L'approche par la technologie des features vise à relier les données géométriques décrivant un produit aux différentes sémantiques associées aux activités du cycle de vie. On peut illustrer cette approche à travers un exemple simple sur la Figure 15. La pièce exemple peut en fait avoir plusieurs interprétations :

- Du point de vue de la fabrication par exemple, elle est vue comme un block de matériau brut traversé par une dépression (creusement) constituée d'un trou borgne réalisé par deux cylindres et un cône colinéaires. La sémantique est complétée en ajoutant à ces données purement géométriques des informations sur les outils à utiliser pour réaliser les dépressions et le type de matériau utilisé.
- Du point de vue de l'assemblage, qui s'intéresse à décrire les connections physiques entre pièces, elle est interprétée en s'intéressant plus particulièrement aux surfaces de contact qui seraient impliquées dans un assemblage.
- Du point de vue de la conception, l'axe, les rayons et la fonction du trou sont pris en compte.
- Dans la vue de fabrication, l'axe, les rayons du cône et des cylindres et leurs tolérances sont des informations pertinentes.

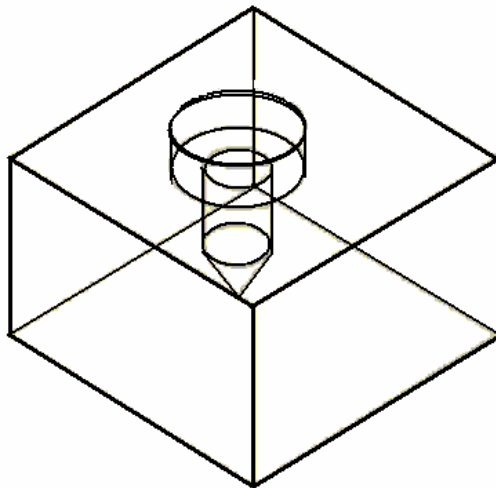


Figure 15 - Exemple de pièce

Un autre exemple, une plaque métallique avec plusieurs nervures. Dans la vue d'analyse par éléments finis, les nervures vont être considérées comme des features pertinents. Cette plaque peut être également construite non pas par rajout de nervures à une plaque mince, mais par usinage de plusieurs rainures d'une plaque plus épaisse. Ainsi pour la vue de l'usinage, les rainures entre les nervures sont des features pertinents. Les relations entre features peuvent avoir aussi une signification, ainsi, la distance entre rainures peut impliquer un usinage de paroi mince.

Ces exemples montrent qu'un élément géométrique peut avoir plusieurs sémantiques selon les points de vue considérés. Chaque groupement entre l'élément géométrique et la sémantique définit un feature pour la vue correspondant à cette sémantique. Ainsi, il est possible de construire des modèles en terme de features pertinents pour chaque vue. L'ensemble de ces modèles forme le modèle produit global.

4.3.4. Conclusion de l'approche à base de données métier techniques

Il devient clair que les features qui sont à la base de la modélisation produit peuvent jouer un rôle essentiel dans l'intégration de plusieurs applications métier intervenant dans le cycle de vie d'un produit. Ainsi, il peut y avoir une vue de conception, une vue d'analyse, une vue de préparation à la fabrication, une vue d'assemblage etc. Ces différentes vues forment un ensemble global qui est le modèle produit. Ce dernier capitalise les données communes entre applications tout en permettant à chaque application d'avoir sa propre sémantique, en terme de features pertinents pour elle.

Cette intégration, qui se place dans un cadre d'ingénierie concourante et un contexte d'entreprise étendue, implique plusieurs métiers, internes et externes à l'entreprise et donc plusieurs modèles de natures différentes. Le modèle produit désigne donc en réalité un ensemble cohérent de modèles différents.

Plusieurs travaux en modélisation produit s'inscrivent dans cette perspective, et consistent à proposer et valider des contributions partielles au modèle produit et des mécanismes de maintien de sa cohérence pendant le déroulement d'une phase particulière du cycle de vie, la conception par exemple [Den 02a].

En conclusion de cette étude, nous notons quelques remarques qui nous semblent très importantes pour une adoption plus large de cette approche d'intégration, à savoir :

- la notion de feature sur laquelle est basée la modélisation produit devrait comporter des informations intégrant aussi bien la forme des entités que leurs sémantiques. Ceci passe obligatoirement par une prise de recul par rapport à la vue purement géométrique du produit et l'extension du concept de feature pour intégrer de nouveaux points de vues (fonctionnel, structurel, technologies de conception, technologies de réalisation, analyse etc.). Dans cette optique, le modèle produit apparaît comme la somme de modèles partiels pouvant être construits de façon asynchrone et distribuée par différents acteurs. Chaque acteur contribue à la construction du modèle au moyen de ses propres primitives, significatives de son métier (modélisation par features des concepts de son point de vue).
- La cohérence d'ensemble des tâches effectuées par les différents acteurs et leur intégration ne peuvent alors être assurés que s'il existe des mécanismes permettant à chaque acteur de filtrer le modèle produit pour en extraire les concepts significatifs pour son point de vue ce qui nécessite l'utilisation de méthodes de reconnaissance de features propres à son point de vue, et des méthodes de conversion de features d'un point de vue à un autre. Or ces méthodes n'existent que sur des modèles géométriques de features et restent à développer pour des features non géométriques.

4.4. Intégration par les connaissances métier génériques et les ontologies

Les ontologies sont devenues une composante majeure dans de nombreux domaines, et sont appelées à y jouer un rôle central. Nées des besoins de représentation des connaissances, elles sont à l'heure actuelle au coeur des travaux menés en ingénierie des connaissances. Visant à établir des représentations à travers lesquelles les machines pourraient manipuler la sémantique des informations, la construction des ontologies demande à la fois une étude des connaissances humaines et la définition de langages de représentation, ainsi que la réalisation de systèmes pour les manipuler [Fur 02].

Le champ d'application des ontologies ne cesse de s'élargir et couvre des systèmes de plus en plus variés : aide à la décision, enseignement assisté par ordinateur, résolution de problèmes ou gestion de connaissances. Un des plus grands projets basés sur l'utilisation d'ontologies est le Web sémantique qui consiste à ajouter au Web une véritable couche de connaissances permettant, dans un premier temps, des recherches d'informations au niveau sémantique et non plus simplement syntaxique. Le but visé à terme est de rendre les applications Internet aptes à mener des raisonnements utilisant les connaissances stockées sur le Web.

De nos jours, les ontologies sont considérées comme des éléments clés pour l'échange correct d'informations et l'interopérabilité sémantique entre humains et machines dans des environnements complexes. Elles agissent comme vocabulaire commun pour la description de la sémantique relative à certaines notions pertinentes dans un domaine d'application donné. D'où l'idée de les utiliser dans le PLM. Dans l'univers hétéroclite caractéristique du PLM, l'utilisation des ontologies comme moyen d'intégration des connaissances pourrait s'avérer très prometteuse. Dans le cadre de cette thèse, nous nous sommes intéressés à l'utilisation des ontologies comme approches d'intégration des connaissances dans un contexte PLM.

Cette partie est organisée comme suit : Dans la seconde section, la notion d'ontologie est explicitée à travers plusieurs définitions. La troisième section s'attache à explorer l'environnement complexe du PLM et la pertinence de l'utilisation des ontologies dans ce type d'environnements. Comme les ontologies sont orientées en premier lieu vers la modélisation et la formalisation des connaissances d'un domaine particulier, nous nous intéressons de plus près aux connaissances utilisées dans le développement de produit et nous résumons quelques travaux visant à utiliser les ontologies dans ce domaine. Ceci va nous permettre de tirer des conclusions importantes quant à la construction d'une ou plusieurs ontologies qui décriraient l'ensemble des informations présentes dans tout le cycle de vie produit.

4.4.1. Généralités sur les ontologies

4.4.1.1. Origine des ontologies

Introduit en Intelligence Artificielle (IA) il y a 15 ans, le terme d'ontologie était usité en philosophie depuis le XIX^{ème} siècle. Dans ce domaine, l'Ontologie désigne l'étude de ce qui existe, c'est à dire l'ensemble des connaissances que l'on a sur le monde [WEL 01]. En IA, on ne considère que des ontologies, relatives aux différents domaines de connaissances. C'est à l'occasion de l'émergence de l'Ingénierie des Connaissances que les ontologies sont apparues en IA, comme réponses aux problématiques de représentation et de manipulation des connaissances au sein des systèmes informatiques.

4.4.1.2. Définitions des ontologies

L'origine philosophique de l'ontologie renvoie à la « théorie de l'existence », c'est à dire la théorie qui tente d'expliquer les concepts qui existent dans le monde et comment ces concepts s'imbriquent et s'organisent. Contrairement à l'homme, la *connaissance* pour un système informatique se limite à la connaissance qu'il peut *représenter*. Chez l'homme, les connaissances représentables (*l'univers de discours*) sont complétées par des connaissances non exprimables (sensations, perceptions, sentiments non verbalisables, connaissances inconscientes, etc.). Ces éléments non représentables participent pourtant aux processus de raisonnement et de décision. En informatique, ce qui existe est ce qui peut être représenté, c'est-à-dire concrètement l'ensemble des représentations qui aura été *formalisé*.

Les ontologies informatiques sont des outils qui permettent précisément de représenter un corpus de connaissances sous une forme utilisable par une machine [Fur 02].

Il existe de nombreuses définitions de ce qu'est une ontologie; ces définitions ne sont pas toujours compatibles. Dans ce qui suit, nous en proposons quelques unes :

- **Définition1** : Une des définitions de l'ontologie qui fait autorité est celle de Gruber [Gru 93a] et [Gru 93b] : « *an ontology is an explicit specification of a conceptualization* » Une **ontologie** est la *spécification d'une conceptualisation* d'un domaine de connaissance.

Cette définition s'appuie sur deux dimensions :

- une ontologie est la *conceptualisation* d'un domaine, c'est-à-dire un choix quant à la manière de décrire un domaine. Une conceptualisation est à son tour définie par : « *a conceptualisation is an abstract, simplified view of the world that we wish to represent for some purpose* [Gru 93a].
- c'est par ailleurs la *spécification* de cette conceptualisation, c'est-à-dire sa description formelle. C'est une base de formalisation des connaissances. Elle se situe à un certain niveau d'abstraction et dans un contexte particulier. C'est aussi une représentation d'une conceptualisation partagée et consensuelle, dans un domaine particulier et vers un objectif commun [Fur 02].

- **Définition2** : Plus concrètement, une **ontologie** est un ensemble structuré de *concepts*. Les concepts sont organisés dans un *graphe* dont les *relations* peuvent être :

- des relations sémantiques ;
- des relations de composition et d'héritage (au sens objet)

L'objectif premier d'une ontologie est de modéliser un ensemble de connaissances dans un domaine donné.

- **Définition3** : une ontologie est une description formelle explicite des concepts d'un domaine de connaissance.

Elle contient des concepts (également appelées classes), des propriétés (appelés également rôles ou attributs) de chaque concept décrivant les caractéristiques et les attributs d'un concept et des restrictions sur les propriétés (appelées également facettes ou restrictions de rôles).

Une ontologie (ainsi que l'ensemble des instances individuelles des classes) forme une base de connaissances [Ont 05].

4.4.1.3. Les constituants d'une ontologie

1) Connaissances et domaines

Une ontologie ne peut être construite que dans le cadre d'un domaine précis de la connaissance, selon l'utilisation que l'on veut en faire. Comme beaucoup de termes n'ont pas le même sens d'un domaine à l'autre, une sémantique non ambiguë doit être intégrée à l'ontologie. Un domaine de connaissances est donc constitué par les objets du domaine et par un contexte d'usage de ces objets [Bac 99]. Délimiter rigoureusement un domaine de connaissances peut se révéler très ardu, à cause de la nature holistique de la connaissance. Certaines connaissances, qui peuvent constituer en elles-mêmes un domaine, sont utilisées dans tous les autres domaines. C'est le cas des notions générales liées à la causalité, au temps, à l'espace, etc. De plus, les connaissances humaines se déploient suivant plusieurs dimensions: des connaissances peuvent être développées non seulement sur la réalité mais également sur un domaine de connaissance. On parle alors de méta-connaissances, ou connaissances sur les connaissances. Savoir borner le domaine des connaissances à

représenter demande donc une délimitation extrêmement précise de l'objectif opérationnel de l'ontologie.

Une étude menée par Nonaka et Takeuchi [NoT 95], distingue deux types de connaissances : la *connaissance explicite* et la *connaissance tacite*. La *connaissance explicite* est formelle et systématique (ordonnée) et donc facile à communiquer et à partager, elle peut être traduite dans un langage formel et stockée dans des bases de données et des bases de connaissances tandis que la *connaissance tacite*, elle est caractérisée par le fait qu'elle est généralement personnelle et difficile à transmettre, elle se compose essentiellement de modèles mentaux, de croyances et de visions individuelles qui sont difficilement reliées ou partagées. C'est le mouvement entre ces deux types de connaissances qui est à l'origine du processus de création de nouvelles connaissances. Quatre types de conversions sont possibles, comme illustrée sur la Figure 16: le passage de la connaissance tacite à une autre connaissance tacite est une *socialisation*, le passage de connaissances explicite à d'autres connaissances explicites est une *combinaison*, de tacite à explicite est une *externalisation* et enfin d'explicite à tacite est une *internalisation*.

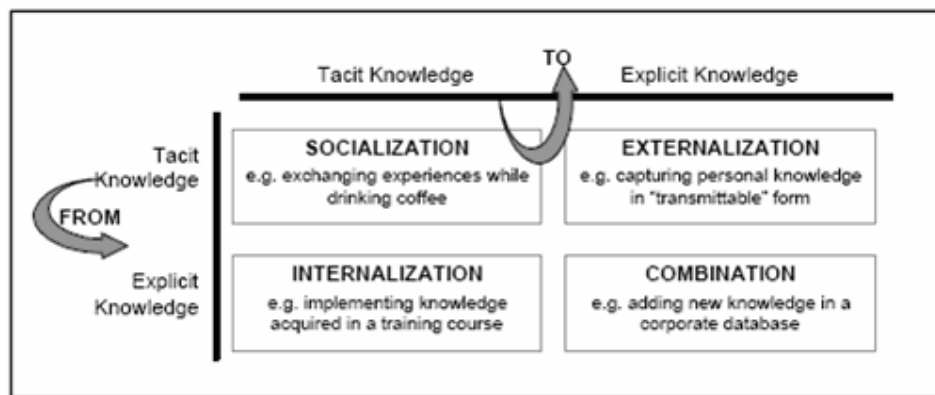


Figure 16 - Modes de conversion des connaissances [NoT 95]

D'autre part, dans le domaine de l'Ingénierie des Connaissances, le terme de connaissance désigne la connaissance explicite.

Le processus général de représentation des connaissances peut donc être découpé en 3 phases :

1. **La conceptualisation** : identification des connaissances contenues dans un corpus représentatif du domaine. Ce travail doit être mené par un expert du domaine, assisté par un ingénieur de la connaissance ;
2. **L'ontologisation** : formalisation, autant que possible, du modèle conceptuel obtenu à l'étape précédente. Ce travail doit être mené par l'ingénieur de la connaissance, assisté de l'expert du domaine ;
3. **L'opérationnalisation** : transcription de l'ontologie dans un langage formel et opérationnel de représentation de connaissances. Ce travail doit être mené par l'ingénieur de la connaissance.

Il est à noter que ce processus n'est pas linéaire et que de nombreux allers-retours sont a priori nécessaires pour bâtir une ontologie opérationnelle adaptée aux besoins. Remarquons pour finir que ce modèle de construction d'ontologie est ascendant, c'est-à-dire que l'on part des connaissances à représenter, pour aboutir à une représentation formelle. Mais une construction descendante est possible. Elle consiste à choisir un modèle opérationnel de représentation, en fonction de l'objectif d'utilisation de l'ontologie, puis à instancier ce modèle avec les connaissances du domaine [Fur 02].

2) Concepts et relations

L'objectif premier d'une ontologie est de modéliser un ensemble de connaissances dans un domaine donné. Les connaissances portent sur des objets auxquels on se réfère à travers des concepts et des relations.

- Un **concept** peut représenter un objet matériel, une notion, une idée [Usc 95]. Un concept peut être divisé en trois parties : un terme (ou plusieurs), une notion et un ensemble d'objets. Le terme désigne une appellation du concept. La notion, également appelée *intension* du concept, contient la sémantique du concept, exprimée en termes de *propriétés* et *d'attributs*, de *règles* et de *contraintes*. L'ensemble d'objets, également appelé *extension* du concept, regroupe les objets manipulés à travers le concept ; ces objets sont appelés instances du concept. Par exemple, le terme « table » renvoie à la fois à la notion de table comme objet de type « meuble » possédant un plateau et des pieds, et à l'ensemble des objets de ce type. Il est à noter qu'un concept peut très bien avoir une extension vide. Il s'agit alors d'un concept générique, correspondant généralement à une notion abstraite (par exemple, la « vérité », prise dans le sens de « ce qui est vrai » et non pas du « degré de vérité »). Les concepts sont organisés en graphes exhibant des relations sémantiques et/ou d'héritage. Une hiérarchie de concepts reliés par héritage peut être construite en utilisant une subsomption. La subsomption est une propriété utilisée pour lier les concepts. Un concept C1 subsume un concept C2 si toute propriété sémantique de C1 est aussi une propriété sémantique de C2, c'est-à-dire si C2 est plus spécifique que C1. L'extension d'un concept est forcément plus réduite que celle d'un concept qui le subsume [Fur 02].
- Une **relation** permet de lier des instances de concepts, ou des concepts génériques. Elle est caractérisée par un terme (voire plusieurs) et une signature qui précise le nombre d'instances de concepts que la relation lie, leurs types et l'ordre des concepts, c'est-à-dire la façon dont la relation doit être lue. Par exemple, la relation « écrit » lie une instance du concept « personne » et une instance du concept « texte », dans cet ordre. De plus une relation peut désigner un lien *sémantique* ou un lien *d'héritage* entre concepts. Les relations peuvent également être organisées de manière hiérarchisée à l'aide de la propriété de subsomption [Fur 02].

4.4.2. L'environnement PLM et les ontologies

4.4.2.1. Les connaissances dans le développement de produit

Les connaissances sont considérées comme une source indéniable d'innovation et de croissance dans les entreprises manufacturières et un facteur clé pour la génération de valeur. Le capital de l'entreprise ne se mesure plus à son chiffre d'affaire mais plutôt à ses connaissances et la manière dont elle les gère. Il s'agit donc d'un nouvel intérêt grandissant: créer et gérer les connaissances est un projet que plus d'une entreprise tente aujourd'hui d'intégrer à ses objectifs stratégiques. Mais, jusqu'à maintenant, pour une majorité d'entreprises industrielles, ces initiatives de gestion des connaissances sont lancées à un niveau local, sans vision globale de ce que pourrait être une démarche intégrée entre les nombreux systèmes qui existent dans l'entreprise moderne.

Les dirigeants, conscients de la multiplicité de ces systèmes au sein de leur organisation et des synergies qui existent entre eux, souhaitent mettre en place une démarche coordonnée et intégrée de gestion des connaissances de l'entreprise dans le but d'améliorer leur performance et ainsi réaliser le maximum de profit. Le PLM est une perspective intéressante, en ce sens qu'il procure un support pour un large spectre d'activités industrielles et métier, allant de la conception du produit jusqu'à son démantèlement. Pour tirer profit d'une telle démarche, une gestion des connaissances la plus efficace doit être menée de façon holistique et multi

disciplinaire. Le spectre des connaissances impliquées dans le cycle de vie produit est aussi large que varié. La coordination et l'intégration des connaissances produit à travers toute l'entreprise (ou le réseau d'entreprise ou encore les différents services de l'entreprise étendue) deviennent des préoccupations majeures. Ce problème a fait l'objet de plusieurs travaux de recherche et reste toujours d'actualité dans les domaines académiques et industriels. Plusieurs auteurs s'y sont intéressés. En remarquant que les connaissances relatives au produit durant tout son cycle de vie ne peuvent être exploitées qu'à travers une compréhension et une explicitation de leur sémantique et son utilisation à bon escient, plusieurs auteurs se sont investis dans le vaste domaine des connaissances et de leur sémantique dans l'environnement complexe de l'entreprise manufacturière. Dans [Ack 04], les auteurs soulignent la nécessité pour les entreprises modernes d'avoir une vue unifiée des connaissances du produit afin de mieux synchroniser et gérer ses différentes activités. Les entreprises doivent pour cela s'éloigner des solutions unilatérales qui consacrent des vues locales et optimisées sur les données produit au profit de modèles de produit unifiés qui encouragent et soutiennent l'accès aux informations produit pour tous : les employés, les partenaires commerciaux ainsi que les clients à travers tous les processus industriels et les services gérés par l'entreprise. Les auteurs proposent dans ce but une architecture de l'information produit, structurée en plusieurs niveaux allant du niveau syntaxique, suivi par le niveau des données, terminée par le niveau sémantique qui représente le plus haut niveau, ceci pour à une meilleure gestion et une meilleure organisation des données et des connaissances produit.

En considérant le volume important des informations associées aux différents processus du cycle de vie produit et en remarquant qu'une part non négligeable de ces informations se rapporte à la forme géométrique du produit, certains auteurs ont essayé de déduire la sémantique à partir de la forme [Bru 05]. Une solution d'intégration à un niveau sémantique passe obligatoirement par un mécanisme ou une stratégie de partage des connaissances sur le produit. Plusieurs chercheurs en intelligence artificielle ont développé des techniques d'acquisition et de représentation des connaissances pour construire des bases de connaissances partagées dans divers domaines [FCG 91], en particulier dans le développement de produit et pour la gestion collaborative des données du produit [GTW 92], pour finalement déboucher sur des approches à base d'ontologies, développées par la suite [Gru 91] [Gru 93b].

4.4.2.2. Les ontologies dans le développement de produit

L'étude des bénéfices potentiels de l'utilisation des ontologies dans des systèmes PLM est un domaine de recherche relativement récent. Mis à part quelques résultats intéressants ayant trait à l'utilisation des ontologies dans certaines phases du cycle de vie du produit et certaines étapes du processus de développement, il n'existe pas vraiment d'ontologies dédiées spécialement PLM ou qui décriraient le cycle de vie dans son ensemble. La principale raison à cela est sans doute la grande complexité et le volume colossal du contenu informationnel des différentes phases du cycle de vie du produit et les applications variées qui les utilisent.

Devant cette complexité, les chercheurs ont concentré leurs efforts vers une ou deux activités du cycle de vie [PDS 05], [KPB 05]. D'autres se sont intéressés à un aspect particulier [ScG 99].

L'utilisation des ontologies dans le développement de produit en général et dans le PLM en particulier intéresse de plus en plus de chercheurs. Nous présenterons ici quelques travaux parmi les plus importants, la liste des investigations qui se font dans ce domaine n'est bien sûr pas exhaustive vu que ce domaine de recherche est relativement récent et qu'à ce jour certains travaux sont en cours. Ainsi, les recherches menées par L.Patil, D.Dutta et R.Sriram, [PDS 05] sont venues pour pallier les inconvénients des systèmes classiques de développement de produit dans la conception collaborative. Les auteurs proposent un environnement à base d'ontologies

pour l'échange de la sémantique des données produit entre différents domaines au sein de la même activité du processus de développement : la conception. Une approche basée standard a été utilisée à travers le développement d'un langage de représentation de la sémantique du produit nommé PSRL (Product Semantic Representation Language), codé en DAML+OIL[DAM 01]. Le but du langage PSRL est de servir comme *interlingua*⁷ (sorte de langage intermédiaire de base partagé par toutes les applications de CAO et de CAPP) pour assurer l'interopérabilité sémantique. La portée des l'ontologies proposées est limitée à deux domaines d'application : (i) le domaine de la CAO et (ii) le domaine de la Conception de gammes d'usinage assistée par ordinateur ou CAPP (Computer Aided Process Planning), sans possibilité de généralisation à d'autres domaines. De plus, pour assurer l'interopérabilité sémantique les auteurs se sont basés sur la notion de matrice d'équivalence sémantique qui suppose l'existence d'interprétations équivalentes exactes dans les deux ontologies relatives aux deux domaines. Par conséquent, elle n'est pas adaptée à la représentation de l'inexactitude et l'exactitude partielle des concepts lors de la mise en correspondance sémantique entre les deux domaines.

Le travail de M.P.Kesavadas et al [KPB 05] est beaucoup plus complet en ce sens qu'il propose une ontologie formelle de base qui est suffisamment générique pour incorporer les relations sémantiques et les contraintes associées aux concepts et artefacts de conception et encapsuler les intentions et les raisons de choix importants dans la conception et la fabrication. Les auteurs proposent un outils pour l'aide à la conception d'une ontologie formelle du cycle de vie produit, baptisé PrOnto™. Cet outil a permis d'aboutir à des ontologies de haut, moyen et bas niveau de termes inhérents à la conception et la fabrication, et ceci par le développement d'un ensemble de catégories basées sur des fondements "métaphysiques", appelées SNAP et SPAN [GeS 04]. Ce système fut testé avec succès pour une ontologie de 1500 termes relatifs aux engrenages. Bien que ce résultat soit des plus encourageants, il n'en demeure pas moins que l'implémentation industrielle de ce système nécessite des recherches encore plus poussées et beaucoup plus de maturation.

D'autres travaux de recherche se sont intéressés aux aspects d'interopérabilité dans le PLM. Ainsi, l'étude de l'interopérabilité entre différents processus de fabrication par exemple a conduit au développement du langage PSL (Process Specification Language) au NIST (National Institute of Standards and Technology). Le problème d'interopérabilité est adressé par le langage PSL qui est destiné à servir d'*interlingua* pour intégrer plusieurs applications dans les processus de fabrication à travers tout le cycle de vie de la fabrication (manufacturing life cycle) [ScG 99].

4.4.3. Conclusion de l'approche d'intégration par les ontologies

En conclusion, les travaux cités précédemment bien que très prometteurs restent restreints à certains métiers ou certaines phases du cycle de vie. Une solution d'intégration de tout le cycle de vie par le mécanisme des ontologies passerait par la création d'une ontologie globale ou d'un ensemble d'ontologies complémentaires pour décrire toutes les phases et les connaissances associées, ce qui en soi représente un défi très important. Cette partie fera l'objet d'une étude détaillée au chapitre 5.

4.5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous nous sommes intéressés à la description de plusieurs démarches méthodologiques d'intégration de données dans un cadre de gestion du cycle de vie produit.

⁷ Langue artificielle, qui est une forme simplifiée du latin, proposée en 1903 par G. Peano.

Ces démarches sont décrites à travers trois approches, reflétant respectivement trois niveaux d'intégration distincts :

- Une intégration au niveau description standardisée des données produit. Une étude détaillée des standards dans le PLM est faite à ce niveau en faisant une classification et une typologie de ces standards et en illustrant leurs rôles, leurs domaines d'utilisation et les possibilités d'intégration qu'ils offrent dans une optique PLM. Il ressort de cette étude qu'il existe une pléthore de standards susceptibles d'être utilisés dans un contexte PLM. Toutefois, aucun de ces standards ne couvre la totalité des aspects du cycle de vie produit. On ne remarque qu'une couverture partielle comme schématisé sur la Figure 14. En plus de la couverture incomplète, ces standards sont souvent incompatibles du fait qu'ils ont été développés par des approches différentes et par des organismes aux intérêts opposés. Ceci a conduit à l'absence d'interopérabilité à travers les multiples phases et les fonctions du PLM. Ce problème est le résultat de la divergence des intérêts sur la façon de réaliser une telle interopérabilité. Le principal défi dans ce sens est la création de standards et de protocoles qui assurent l'interopérabilité entre les systèmes classiques existants et les innovations technologiques actuelles et futures. Dans le contexte du PLM, ce problème revêt une importance capitale et sa solution devrait obligatoirement passer par une harmonisation des standards existants et la prise en charge de la plus grande part de l'information stable inhérente au PLM par des standards ouverts développés par des organismes de standardisation et des consortia dont les conditions d'adhésion sont suffisamment souples et ouvertes pour en garantir l'accessibilité à tous et la participation de tous, où chacun trouvera son compte.
- Une intégration au niveau des connaissances métier techniques, en utilisant principalement une approche par les Features ou caractéristiques de forme. Ces approches découlent du constat que différents points de vue métier partagent la même description du produit en terme de features de forme et que chaque point de vue l'enrichit par la suite par une sémantique spécifique. A partir de là, l'idée est venue de vouloir intégrer ces différents points de vue afin de tirer profit des aspects communs et de ne pas les dupliquer à chaque fois. Cette approche serait très profitable vu que les produits techniques tendent à devenir de plus en plus complexes et que par conséquent, leur conception nécessite la participation et la collaboration de plusieurs acteurs. Les approches d'intégration proposent à ces différents acteurs de travailler sur des modèles communs, puis de les enrichir de connaissances spécifiques si besoin est. L'intégration peut se faire de différentes façons : en standardisant les features et en les adaptant aux différents contexte d'utilisation, ou encore en montrant à travers des exemples comment l'intégration s'effectue entre deux ou plusieurs point de vue métier. Cette approche est étroitement liée au concept de feature, ce qui nécessite que chaque point de vue métier dispose d'une définition claire de ce concept. Cette définition est généralement liée à la géométrie du produit, ce qui ne permet pas d'intégrer à un niveau autre que celui de la géométrie. Ceci constitue le principal inconvénient de cette approche malgré les tentatives de généralisation du concept de feature aux différents points de vue métier dans le cycle de vie produit.
- Une intégration au niveau des connaissances métier génériques principalement illustrée par l'utilisation des ontologies et des méta-données, potentiellement porteuses d'une sémantique plus riche et plus complète sur tous les aspects du produit. Conçues comme réponse aux problèmes posés par l'intégration de connaissances au sein des systèmes informatiques, les ontologies apparaissent désormais comme une clé pour la manipulation automatique de l'information au niveau sémantique. Au fur et à mesure des recherches,

des idées se dégagent autour du contenu des ontologies, des méthodes à utiliser pour les construire et des modèles et langages servant à leur représentation. La définition d'une méthodologie unifiée de construction et de validation des ontologies est nécessaire, en particulier pour faciliter la fusion d'ontologie. Cette unification doit porter sur les principes de structuration sémantique des connaissances mais également sur les langages opérationnels de représentation. La diversité et la puissance des applications potentielles des ontologies laissent à penser qu'elles pourraient jouer un rôle très important au sein des systèmes PLM.

En conclusion, et après la présentation de différentes méthodes d'intégration, il nous paraît important de souligner que parmi toutes ces méthodes, les ontologies seraient en mesure d'assurer une intégration au plus haut niveau : celui de la sémantique. Les caractéristiques propres aux ontologies et leurs utilisations potentielles nous ont incité à étudier leurs possibilités comme outils d'intégration dans un contexte de gestion du cycle de vie produit. Ceci fera l'objet d'une étude détaillée présentée au chapitre 5.

Chapitre 5: Proposition d'une approche d'intégration basée sur les ontologies et orientée PLM

5.1. Introduction

De nos jours, les ontologies sont considérées comme des solutions clés pour l'échange correct d'information et l'interopérabilité sémantique dans les environnements complexes. Elles agissent comme vocabulaires communs décrivant la sémantique relative à un domaine d'application donné. D'où l'idée de les utiliser dans le contexte du PLM.

Actuellement, peu d'études concernant l'utilisation des ontologies dans le PLM ont été menées. La complexité des environnements PLM suppose que le développement d'une ontologie globale qui en cerne tous les aspects ne pourrait être l'initiative d'un seul individu, elle passe obligatoirement par un effort et un consensus conjoints entre plusieurs experts de différents domaines. Dans le cadre de ce travail, nous nous sommes intéressés à l'étude des bénéfices potentiels de l'utilisation des ontologies dans le PLM. Nos investigations nous ont menés à explorer principalement deux axes importants : (i) l'étude des ontologies qui existent déjà et qui peuvent être exploitées dans le domaine du PLM [Mos 06], et (ii) le développement d'une ontologie de produit à partir des informations qui existent dans les environnements PLM [Mos 05a] [Mos 05b].

Ce chapitre est structuré comme suit : dans le paragraphe 3, nous étudions quelques ontologies existantes dans des domaines qui se rapprochent beaucoup du PLM. Cette étude est menée dans la perspective de bénéficier de ce qui existe déjà et ce qui a été bien modélisé dans d'autres ontologies sans avoir à le recréer. Nous concluons par une discussion des combinaisons possibles de certaines ontologies jugées pertinentes pour décrire certains aspects importants du PLM et les problèmes qui se posent dans ces cas là. Dans le paragraphe 4, nous proposons une ontologie de produit qui contient une grande partie des connaissances utilisées dans le PLM et particulièrement les applications XAO et le PDM. Les principaux concepts et relations de l'ontologie sont décrits en détails. Par la suite, l'ontologie est instanciée avec des exemples académiques et industriels de produits, en particulier des produits étudiés dans des entreprises nationales. La description de quelques mécanismes pertinents d'exploitation de cette ontologie par la suite permet de mieux appréhender ses potentialités en tant que mécanisme d'intégration dans un contexte de cycle de vie.

5.2. Première vision : Intégration d'ontologies existantes

Dans première partie de notre étude, le problème de l'utilisation des ontologies comme approche d'intégration dans un cadre de gestion du cycle de vie produit est abordé en se positionnant d'abord par rapport à ce qui existe dans ce domaine ou dans des domaines proches. Avant de concevoir de zéro une ontologie dédiée au PLM, nous étudierons d'abord quelques exemples de grands projets d'ontologies qui existent et dont le domaine est proche du développement de produit et du PLM. La raison à cela est que le développement d'une ontologie ou d'un ensemble d'ontologies dédiées au PLM est un projet de grande envergure. Par conséquent, il ne peut être le propre d'une seule personne ni d'un seul domaine. Une ontologie ne pourrait être réellement représentative du phénomène complexe du PLM que si elle inclut tous les domaines et toutes les spécialités qu'il représente. L'étude de projets d'ontologies existants dans le domaine du développement de produit ne pourrait donc être que bénéfique. L'expérience gagnée à l'issue de cette étude aura pour effet d'aider à mieux cerner

les aspects nombreux et diversifiés du développement d'une ontologie pour un domaine aussi vaste que le PLM en profitant des expériences décrites dans les projets étudiés.

Plus précisément, nous procéderons à l'étude de quelques grandes ontologies qui existent et à travers cela, nous évaluerons leur adéquation au PLM. La recherche dans le domaine de l'ingénierie des connaissances et la conception d'ontologies a produit un large spectre de projets d'ontologies allant du domaine du langage naturel aux systèmes de représentation des connaissances à des ontologies spécifiques à des domaines particuliers. Il serait intéressant d'intégrer entre elles plusieurs ontologies de façon à ce qu'elles puissent partager et réutiliser leurs connaissances mutuelles. Si par exemple une des ontologies a une bonne description de la théorie du temps et de l'espace et qu'une autre ontologie a besoin d'utiliser ces notions, elle pourrait les utiliser directement à travers la première ontologie sans avoir à les réinventer. C'est précisément le but visé dans cette seconde partie : quelles ontologies sont susceptibles d'être utilisées dans le PLM.

5.2.1. Typologie des ontologies existantes

Il existe de nombreuses sortes d'ontologies, destinées à des utilisations très variées. L'un des problèmes fréquemment rencontrés par les utilisateurs potentiels d'ontologies, est celui de la diversité des appellations de ces ontologies. C'est pourquoi il nous semble important d'explicitier les termes employés. Le but de cette section n'étant pas de répertorier tous les types d'ontologies qui existent, nous ne présentons ici que celles qui intéressent notre problématique, i.e. qui sont susceptibles d'être utilisées dans un contexte PLM.

5.2.1.1. Ontologies de représentation de connaissances

Les ontologies de représentation de connaissances ou knowledge representation ontologies contiennent les primitives de représentation utilisées pour la formalisation des connaissances dans les différents paradigmes de représentation de ces dernières.

5.2.1.2. Ontologie de haut niveau

Une ontologie de haut niveau décrit des concepts très généraux comme l'espace, le temps, la matière, les objets, les événements, les actions, etc. Ces concepts ne dépendent pas d'un problème ou d'un domaine particulier, et doivent être, du moins en théorie, consensuels à de grandes communautés d'utilisateurs [Gua 98]. Des exemples d'ontologies de haut niveau sont Dolce ou Sumo.

5.2.1.3. Méta-ontologies

Sont des ontologies génériques qui sont des noyaux d'ontologies utilisées dans divers domaines.

5.2.1.4. Ontologie de domaine

Une ontologie de domaine décrit le vocabulaire ayant trait à un domaine générique (ex. : l'enseignement, la médecine...), notamment en spécialisant les concepts d'une ontologie de haut niveau [Gua 98].

5.2.1.5. Ontologie de tâche

Une ontologie de tâche décrit le vocabulaire concernant une tâche générique (ex. : enseigner, diagnostiquer...), notamment en spécialisant les concepts d'une ontologie de haut niveau

[Gua 98]. Certains auteurs emploient le nom « ontologie du domaine de la tâche » pour faire référence à ce type d'ontologie [Her 05].

5.2.1.6. Ontologie d'application

L'ontologie d'application contient des concepts dépendant d'un domaine et d'une tâche particuliers, qui sont généralement subsumés par des concepts de ces deux ontologies. Ces concepts correspondent souvent aux rôles joués par les entités du domaine lors de l'exécution d'une certaine activité [Gua 98]. Il s'agit donc ici de mettre en relation les concepts d'un domaine et les concepts liés à une tâche particulière, de manière à en décrire l'exécution (ex. : apprendre les statistiques, effectuer des recherches dans le domaine de l'astronomie, etc.).

5.2.2. Ontologies étudiées

Après avoir décrit les principaux types d'ontologies, nous décrivons à ce niveau les principales ontologies étudiées. Plusieurs de ces ontologies sont librement accessibles sur Internet, d'autres le sont partiellement. Il existe de nombreuses pages web d'ontologies⁸ et des portails d'ontologies spécialisés⁹ qui peuvent aider à les choisir et trouver une description détaillée des différents projets. Plusieurs critères peuvent orienter le choix des projets d'ontologies. Dans le cas de notre étude, nous nous sommes basés sur les critères suivants :

- Avoir un ensemble représentatif des différents types d'ontologies décrits dans la section 5.2.1.
- Etudier des ontologies de taille significative qui ont atteint un bon niveau de développement et de maturation dans leur utilisation (pas des projets récents au stade d'essais ou de prototypes par exemple).
- Choisir des ontologies bien documentées.
- Choisir des ontologies de domaines proches du développement de produit qui constituent de bons candidats pour une utilisation dans un contexte PLM.

Une liste des projets d'ontologies étudiés est présentée brièvement dans le Tableau 6.

Tableau 6 - Liste des ontologies étudiées.

Ontologie	Description
<i>SUMO</i>	Suggested Upper Merged Ontology
<i>Cyc</i>	Ontologie de sens commun qui procure un ensemble vaste de connaissances humaines fondamentales.
<i>Generalized Upper Model</i>	Ontologie de tâche dans le domaine linguistique.
<i>Enterprise</i>	Ontologie de domaine constituée d'une collection de termes et de définitions propres aux entreprises industrielles.
<i>TOVE</i>	Ontologie de modélisation de l'entreprise destinée à déduire des requêtes sur les informations du modèle de l'entreprise.
<i>OntoWeb</i>	Décrit une ontologie pour l'échange d'information dans le domaine de la gestion des connaissances en commerce électronique

⁸ <http://ontology.buffalo.edu>

⁹ <http://www.ontoportal.org.uk/>

5.2.3. Evaluation des ontologies étudiées

Les ontologies choisies ont été évaluées selon un certain nombre de critères exprimés sur le Tableau 7.

Tableau 7 - Résumé des critères d'évaluation des ontologies étudiées.

Description générale	But pour lequel l'ontologie a été créée, est-ce une ontologie générale ou une ontologie de domaine. Domaine de l'ontologie Taille: nombre de concepts, d'axiomes ...
URL de l'ontologie	L'ontologie est-elle disponible online? Quelle est son URL?
Formalisme utilisé	Quel formalisme a été utilisé dans l'ontologie?
Facilité d'intégration	L'intégration au sein d'une ontologie plus générale est-elle facile?
Mécanisme d'inférence	L'inférence est-elle possible sur l'ontologie et par quel mécanisme?
Axiomatisation / formalité	L'ontologie est-elle suffisamment axiomatisée et formelle pour envisager son utilisation dans le raisonnement automatique?
Couverture/Application	Application dans laquelle l'ontologie était utilisée ou domaine couvert par l'ontologie
Traçabilité	L'ontologie permet-elle la traçabilité des informations?
Ouverture/modificabilité	L'ontologie s'adapte-t-elle facilement à des nouveaux besoins ou de nouveaux environnements.
Potentialité PLM	Peut-on utiliser l'ontologie dans un cadre PLM

Certains de ces critères sont dictés par des considérations issues de l'ingénierie ontologique [HFN 97] comme: le processus de conception utilisé, le formalisme utilisé, la facilité d'intégration, l'existence ou non d'un mécanisme d'inférence et l'axiomatisation. D'autres critères sont reliés au PLM comme : la facilité d'intégration, la couverture, la traçabilité, l'ouverture, le degré de modificabilité et la potentialité par rapport au PLM.

5.2.4. Discussion de l'évaluation

Les résultats de l'évaluation des ontologies étudiées sont résumés dans le Tableau 8. La principale source de cette évaluation est Internet. Pour certaines ontologies, les résultats concernant certains critères ne sont pas disponibles, la cellule correspondante dans le tableau est laissée vide. Le dernier critère : potentialité PLM est une déduction faite par rapport aux résultats des autres critères, qui indique si l'ontologie étudiée permet une utilisation ou un futur développement dans un cadre PLM.

Tableau 8 - Résultats de l'évaluation des ontologies étudiées.

	<i>SUMO</i>	<i>CYC</i>	<i>GUM</i>	<i>Enterprise</i>	<i>TOVE</i>	<i>OntoWeb</i>
Generalités	20000 concepts 60000 axiomes recherche, linguistique, raisonnement	10 ⁵ types de concepts 10 ⁶ axiomes, Compréhension de texte, Traduction, Intégration de BD, Recherche intelligente, IA Distribuée ...	250 concepts Linguistiques Traitement LN	Gestion du changement, prise de décision	Modélisation de l'Enterprise	Gestion des connaissances, e-commerce
URL	www.ontologyportal.org	www.cyc.com		http://www.aiai.ed.ac.uk/project/enterprise/		http://ontologyweb.aifb.uni-karlsruhe.de/
Formalisme	SUO-KIF	Langage de représentation de CYC (basé calcul des prédicats 1 ^o ordre)	LOOM	Ontolingua	A base de Frames	Ontoedit DAML+ OIL
Facilité d'intégration	oui				oui	
Mécanisme d'inférence	Oui (ajouté)	oui		non	oui	oui
Axiomatization/Formalisation	oui oui	oui oui	non non	non oui	oui oui	oui oui
Couverture	large	LN et IA	LN	restreinte	bonne	
Traçabilité	oui				oui	
Ouverture	oui	possible			oui	
Potentialité PLM	possible	faible	faible	partielle	bonne	faible

Dans ce qui suit, nous présentons un bref aperçu de chaque projet d'ontologie étudié, en commençant par les ontologies générales ou ontologies de haut niveau telles que *SUMO*, *CYC* et *Generalized Upper Model*, et en progressant vers les ontologies de domaines telles que : *Enterprise*, *Tove*, et *Ontoweb*, plus proches du domaine du PLM du fait qu'elles décrivent l'environnement de l'entreprise et de l'ingénierie.

5.2.4.1. SUMO

Cette ontologie a été créée pour faire partie d'un projet plus grand élaboré par le groupe de travail: IEEE Standard Upper Ontology Working. Le principal but de ce groupe est le développement d'une ontologie standard de haut niveau pour promouvoir l'interopérabilité des données, faciliter la recherche d'information et l'inférence automatique dans le traitement du langage naturel. *SUMO* a été traduite dans plusieurs formats de représentation, mais son langage de développement d'origine est une variante du langage KIF (Knowledge Interchange Format) [GeF 92] qui est une version de langage de calcul de prédicat du premier ordre. Une ontologie de haut niveau est limitée aux concepts génériques abstraits ou philosophiques. Par conséquent, elle est suffisamment générale pour décrire un large spectre de domaines (médecine, finance, ingénierie, etc.). Les concepts spécifiques à un certain domaine peuvent être décrits par les concepts génériques de l'ontologie de haut niveau. C'est pourquoi, *SUMO*

pourrait être un candidat potentiel pour une utilisation dans un contexte PLM en utilisant ses concepts abstraits pour la description des concepts spécifiques au PLM.

5.2.4.2. CYC

Cette ontologie s'inscrit dans un effort continu pour la formalisation de connaissances de base [LeG 90]. Une version open source est disponible sous le nom de *OpenCyc*, incluant l'ontologie, ses axiomes, son moteur d'inférence et ses outils d'acquisition des connaissances. *CYC* contient plus de 10 000 types de concepts. Du fait de son orientation initiale vers le domaine linguistique et les langages naturels, *CYC* a un faible potentiel pour une utilisation ou une adaptation dans le contexte PLM.

5.2.4.3. Generalized Upper Model

C'est une ontologie à visée linguistique conçue pour le traitement du langage naturel et une extension multilingue du modèle de haut niveau de Penman (Penman Upper Model). Ce modèle propose une organisation de domaine et se compose uniquement d'une taxinomie de termes. Dans le modèle initiale de Pennman, il y-a une importante hiérarchie de 250 termes exprimant des concepts et une autre hiérarchie de terme exprimant des relations. Cette ontologie est également orientée vers le domaine linguistique et le traitement du langage naturel, par conséquent, elle a un faible potentiel pour une utilisation ou une adaptation dans le contexte PLM.

5.2.4.4. Enterprise

Le projet d'ontologie Entreprise représente une initiative majeure du gouvernement du Royaume Uni pour promouvoir l'utilisation des systèmes à base de connaissance dans la modélisation de l'entreprise dans le but d'aider les dirigeants à gérer plus efficacement le changement. Le projet ciblait la gestion de l'innovation et l'utilisation stratégique des NTICs pour l'aide à la gestion du changement. Il conforte l'utilisation de méthodes de modélisation d'entreprise qui capturent les aspects variés sur le déroulement du travail en entreprise. Le but de la modélisation d'entreprise est d'obtenir une vue sur l'organisation qui peut être utilisée comme base pour la prise de décision. L'ontologie *Enterprise* est constituée de cinq sous ontologies ou sections principales : (1) une méta ontologie avec une partie dédiée au temps, (2) une section dédiée aux aspects : activité, planification, capacité et ressource, (3) une section organisation, (4) une section stratégie et (5) une section marketing. Il est clair que le contenu informationnel de certaines sections est très pertinent pour le PLM et l'entreprise étendue, en particulier les sections (2) et (3). C'est pourquoi, cette ontologie peut représenter partiellement quelques aspects importants du PLM et peut donc être jugée comme potentiellement exploitable dans ce contexte

5.2.4.5. TOVE

TOVE est un exemple d'ontologie de domaine dédiée à une tâche spécifique : la modélisation de l'entreprise. Le but du projet *TOVE* est de développer un ensemble d'ontologies intégrées pour la modélisation d'entreprises commerciales et/ou publiques en créant des modèles spécialement destinés à répondre à des question ayant trait à l'information explicite disponible dans le modèle et déduire également des requête. *TOVE* possède des caractéristiques intéressantes : l'existence d'ontologies de pièces et de produits, une description importante des besoins, des features et des contraintes (*TOVE* est considérée comme une ontologie des besoins dans le domaine de l'ingénierie de conception), une description explicite de la traçabilité, une description formelle de l'ontologie à base de frames et enfin l'existence de

mécanismes d'inférence. Toutes ces considérations font de *TOVE* une excellente candidate pour une future utilisation dans un cadre PLM.

5.2.4.6. Ontoweb

Ontoweb est un projet fondé par l'union européenne sur l'échange d'information à base d'ontologie dans la gestion des connaissances et le commerce électronique. La communauté *Ontoweb* comprend des partenaires des domaines académiques et industriels qui partagent un intérêt commun pour le web sémantique. L'ontologie sert comme moyen de communication entre humains et machines. Une version d'*Ontoweb* existe en langage DAML+OIL [DAM 01] et en langage RDF [RDF 04]. *Ontoweb* est classifiée comme pauvrement structurée pour une utilisation PLM vu qu'elle est orientée beaucoup plus vers le commerce électronique.

5.2.5. Application

L'application directe de cette étude est d'aboutir à un ensemble d'ontologies qui représentent de façon adéquate l'environnement complexe du PLM. Réaliser une interopérabilité sémantique via une approche ontologique dans le contexte du PLM soulève deux questions importantes : (i) comment obtenir l'ontologie ? et (ii) comment va-t-elle être exploitée ?

L'objectif de cette partie est de tenter d'avoir des éléments de réponse à la première question, c'est-à-dire aider à construire une ontologie ou un ensemble d'ontologies qui représente de façon exhaustive tous les aspects du cycle de vie produit. Cette tâche étant des plus difficiles, l'analyse des ontologies qui existent dans divers domaines et en particulier dans celui de l'ingénierie pourrait être très bénéfique car beaucoup d'aspects pertinents pour le PLM sont modélisés dans ces ontologies, il serait alors intéressant de les exploiter directement plutôt que de chercher à les reconstruire. L'évaluation présentée dans la section précédente et dont les résultats sont résumés sur le Tableau 8 a montré que les ontologies *SUMO*, *Enterprise* et *TOVE* avaient une potentialité PLM plus importante que pour les autres ontologies étudiées et que de ce fait, elles nécessitaient plus d'attention.

SUMO est une ontologie de haut niveau qui est exploitée de diverses manières comme pour la création d'extensions spécifiques à certains domaines. L'exploitation de *SUMO* dans le contexte du PLM pourrait être envisagée en l'utilisant comme ontologie de référence à partir de laquelle une ontologie PLM serait construite. Ceci est rendu possible par le fait que *SUMO* est une ontologie de haut niveau, donc les concepts spécifiques au PLM pourraient être construits à partir des concepts génériques de *SUMO*.

L'ontologie *Enterprise* est destinée à la modélisation des environnements de business (l'entreprise industrielle et commerciale) dans le but d'aider les managers à prendre les bonnes décisions stratégiques nécessaires à une gestion efficace de leurs business. Elle représente un des efforts les plus complets dans la modélisation de l'entreprise en incluant la plupart des termes et des concepts pertinents dans ce domaine. Le PLM est considéré comme un phénomène d'entreprise et, en tant que tel, il pourrait bénéficier de cette ontologie et l'exploiter. De plus, le développement d'une ontologie propre au PLM pourrait bénéficier de l'expérience décrite dans le processus de construction du projet de l'envergure de l'ontologie *Enterprise*.

TOVE est considérée comme une ontologie pour exprimer les besoins dans le domaine de la conception, en incluant des concepts comme: le produit, les pièces, les besoins, les features et les contraintes. Ces concepts, à l'évidence très significatifs dans le domaine du PLM, sont bien définis et axiomatisés dans *TOVE*. Au lieu de chercher à les redéfinir dans une nouvelle

ontologie dédiée au PLM, il serait plus intéressant de les utiliser et les exploiter directement à partir de *TOVE*.

En conclusion, les différents projets d'ontologies étudiés sont vus comme complémentaires. Le projet *Enterprise* s'intéresse au domaine du business tandis que *TOVE* est plus proche de celui de l'ingénierie. Or, les applications métier et l'ingénierie constituent des parts importantes du PLM. Dédire des ontologies PLM à partir des modèles de *TOVE*, *Enterprise* et *SUMO* est une perspective importante, toutefois elle reste très délicate. En effet, en dépit de la pertinence de ces ontologies par leurs contenus respectifs au contexte du PLM, elles ne peuvent être utilisées directement dans ce but sans être « réarrangées » ou réadaptées et ceci constitue un défi des plus importants. Il s'agit d'entendre la fusion et/ou l'intégration de plusieurs ontologies écrites dans des paradigmes différents, ce qui représente un problème reconnu dans la communauté même de l'ingénierie ontologique [Gom 99].

5.2.6. Problèmes liés à la fusion d'ontologies

L'utilisation conjointe de deux (ou plusieurs) ontologies peut nécessiter soit un simple alignement dans le cas où aucune partie n'est commune aux ontologies, soit une véritable fusion [Noy 02]. L'alignement suffit dans le cas de l'utilisation d'ontologies portant sur des domaines de connaissance complémentaires, ou sur des domaines de niveaux sémantiques différents. Par exemple, l'utilisation, dans un même système, d'une ontologie de haut niveau et d'une ontologie de domaine ne va nécessiter qu'une compatibilité entre les deux. La compatibilité de deux ontologies est assurée par l'utilisation des mêmes formalismes de représentation, ou l'utilisation de formalismes compatibles, mais également par la compatibilité des modèles de connaissance utilisés [Mae 02]. L'uniformisation des modèles et formalismes de représentation est également nécessaire à la fusion d'ontologies. Préalablement à la fusion, il convient de déterminer quelle est l'ontologie la plus générale, ou celle qui est la plus étendue, c'est-à-dire celle qui ne sera pas modifiée. Les autres devront être alignées sémantiquement et syntaxiquement sur l'ontologie la plus générale [Noy 99b]. Le problème se ramène alors à l'intégration d'une ontologie dans une autre. La fusion de deux ontologies suppose la présence dans ces deux ontologies d'entités conceptuelles (concepts ou relations) communes. Une fois les deux ontologies exprimées dans le même formalisme et à travers le même modèle cognitif, ces entités communes aux deux ontologies doivent être identifiées. Les différents critères qui peuvent alors être appliqués pour repérer les similarités entre entités conceptuelles sont [Mae 02] :

- la similarité des termes désignant deux entités ;
- la similarité des propriétés portées par deux entités ;
- La similarité des entités subsumant ou étant subsumées par deux entités.

Les correspondances ainsi établies entre entités conceptuelles ne sont pas forcément bijectives. Des conflits peuvent naître lors de cette « traduction au niveau sémantique », qui ne peuvent être résolus automatiquement.

Si le degré de similarité ne permet pas de trancher entre deux correspondances possibles, l'intervention humaine est indispensable [Noy 99a]. D'autre part, si certaines entités de l'ontologie à intégrer n'offrent de similarité avec aucune entité de l'ontologie cible, il est tout de même nécessaire de leur trouver une entité subsumante dans l'ontologie cible. La différence de granularité entre les deux ontologies peut de plus entraîner la suppression de certaines entités, ou plus précisément leur agrégation au sein d'une même entité cible.

La fusion d'ontologies apparaît donc comme un processus délicat, qui suppose au minimum une compatibilité entre les formalismes de représentation et entre les modèles de connaissances utilisés [Fur 02].

Parmi les ontologies étudiées, celles qui présentent la plus grande pertinence pour le PLM utilisent des formalismes de représentation complètement différents comme illustré sur le Tableau 8 (SUO-KIF pour *SUMO*, Ontolingua pour *Enterprise* et frames pour *TOVE*). C'est pourquoi leur éventuelle fusion devrait passer obligatoirement par un alignement préalable de sur le même formalisme de représentation. Ce n'est qu'une fois que cela est réalisé que la fusion sémantique proprement dite pourrait être envisagée.

5.3. Deuxième vision : développement d'une ontologie générique

5.3.1. Méthodologie de construction d'ontologies

Les ontologies étant destinées à être utilisées comme des composants logiciels dans des systèmes répondant à des objectifs opérationnels différents, leur développement doit s'appuyer sur les mêmes principes que ceux appliqués en génie logiciel. En particulier, les ontologies doivent être considérées comme des objets techniques évolutifs et possédant un cycle de vie qui nécessite d'être spécifié. Un cycle de vie inspiré du génie logiciel est proposé dans [Die 01]. Il comprend une étape initiale d'évaluation des besoins, une étape de construction, une étape de diffusion, et une étape d'utilisation. Après chaque utilisation significative, l'ontologie et les besoins sont réévalués et l'ontologie peut être étendue ou en partie reconstruite si nécessaire.

Bien qu'aucune méthodologie générale n'ait pour l'instant réussi à s'imposer, de nombreux principes et critères de construction d'ontologies ont été proposés. Ces méthodologies peuvent porter sur l'ensemble du processus et guider l'ontologiste à toutes les étapes de la construction. C'est le cas de METHONTOLOGY, élaborée en 1998 par l'équipe M. Fernandez et A. Gomez-Perez de l'université de Madrid, qui couvre tout le cycle de vie d'une ontologie [Fer 97]. L'équipe de M. Uschold et M. King ont également proposé une méthodologie générale, inspirée de leur expérience de construction d'ontologies dans le domaine de la gestion des entreprises [Usc 95]. La méthodologie présentée par M. Gruninger et M. S. Fox de l'université de Stanford dans [Gru 95] est elle aussi issue d'une expérience de construction d'ontologie sur ce domaine.

Mais quelque soit la méthodologie adoptée, le processus de construction d'une ontologie est une collaboration qui réunit des experts du domaine de connaissance, des ingénieurs de la connaissance, voire les futurs utilisateurs de l'ontologie [Far 00]. Cette collaboration ne peut être fructueuse que si les objectifs du processus ont été clairement définis, ainsi que les besoins qui en découlent.

Nous décrivons dans ce qui suit une méthodologie de développement inspirée du génie logiciel. Elle comprend une étape initiale d'évaluation des besoins, une étape de conceptualisation, une étape d'ontologisation et enfin une étape d'opérationnalisation [Fur 02]

1) L'évaluation des besoins

Le but visé par la construction d'une ontologie se décline en 3 aspects [Usc 95] :

- **L'objectif opérationnel** : il est indispensable de bien préciser l'objectif opérationnel de l'ontologie, en particulier à travers des scénarios d'usage;
- **Le domaine de connaissance** : il doit être délimité aussi précisément que possible, et découpé si besoin est en termes de connaissances du domaine, connaissances de raisonnement, connaissances de haut niveau (communes à plusieurs domaines) ;
- **Les utilisateurs** : ils doivent être identifiés aussi précisément que possible, ce qui va permettre de choisir, en accord avec leurs profils, le degré de formalisme de l'ontologie, et sa granularité.

Une fois le but défini, le processus de construction de l'ontologie peut démarrer, en commençant par la phase de conceptualisation.

2) La conceptualisation

La conceptualisation consiste à identifier, dans un corpus, les connaissances pertinentes du domaine.

En outre, s'il est prévu d'intégrer d'autres ontologies, les connaissances spécifiées dans ces ontologies ne doivent pas être prises en compte une seconde fois. La nature conceptuelle (concepts, relations, propriétés des concepts et relations, règles, contraintes, etc) des connaissances ainsi extraites du corpus doit ensuite être précisée. Des choix liés aux contextes d'usage de l'ontologie doivent donc être effectués dès cette étape.

La découverte des connaissances d'un domaine peut s'appuyer à la fois sur l'analyse de documents et sur l'interview d'experts du domaine. Ces activités doivent être raffinées au fur et à mesure que la conceptualisation émerge. Les interviews très ouvertes et les brainstormings doivent alors laisser place à des questionnaires permettant, par exemple, de préciser la sémantique différentielle d'un concept mis en évidence lors d'une interview. De même, l'analyse informelle des textes doit être doublée par une analyse automatique qui permet de détecter les termes et structures sémantiques (définitions, règles) présentes dans le corpus [Fer 97].

Une fois les ressources cognitives passées au travers du tamis de la conceptualisation, il convient de formaliser, au cours de la phase d'ontologisation, le modèle conceptuel obtenu.

3) L'ontologisation

Une formalisation partielle, respectant l'intégrité du modèle conceptuel, va permettre, à cette étape, de construire une ontologie proprement dite. Afin de respecter les objectifs généraux des ontologies, T. Gruber propose 5 critères permettant de guider le processus d'ontologisation [Gru 93a] :

- la clarté et l'objectivité des définitions, qui doivent être indépendantes de tout choix d'implémentation ;
- la cohérence (consistance logique) des axiomes ;
- l'extensibilité d'une ontologie, c'est-à-dire la possibilité de l'étendre sans modification ;
- la minimalité des postulats d'encodage, ce qui assure une bonne portabilité ;
- la minimalité du vocabulaire, c'est-à-dire l'expressivité maximum de chaque terme.

De plus, il faut bien voir que l'ontologisation est une traduction dans un certain formalisme de connaissances exprimées *a priori* en langage naturel. Le respect de la sémantique du domaine doit être assuré par un *engagement ontologique*, notion proposée initialement par T. Gruber [Gru 93a]. Pour T. Gruber, un engagement ontologique est une garantie de cohérence entre une ontologie et un domaine, mais pas une garantie de complétude de l'ontologie.

N. Guarino définit l'engagement ontologique comme une relation entre un langage logique et un ensemble de structures sémantiques ; plus précisément, le sens d'un concept est donné par son extension dans l'univers d'interprétation du langage. Respecter l'engagement ontologique revient à donner à chaque concept son extension et à manipuler ce concept conformément au sens prescrit par cette extension [Gua 94]. Ces engagements sémantiques et ontologiques doivent être garantis par une structuration sémantique des connaissances, préalable à la formalisation proprement dite. Cette structuration va consister à préciser les liens sémantiques entre les différentes primitives conceptuelles, en particulier les liens de subsomption entre concepts et entre relations [Fer 97]. L'ontologisation doit mener à la construction de hiérarchies de concepts, de relations, mais aussi d'attributs des concepts.

Une fois le modèle conceptuel structuré, il faut le traduire dans un langage semi-formel de représentation d'ontologies. Parmi les langages de représentation développés au niveau conceptuel, trois grands modèles sont distingués : les langages à base de frame (frame based models), les logiques de description (description logic models) et le modèle des graphes conceptuels (conceptual graphs).

- **Les modèles à base de frames** : Introduit dès les années 70 en IA, le modèle des frames a depuis été adapté à d'autres problématiques puisqu'il a donné naissance au modèle objet. Une frame représente n'importe quelle primitive conceptuelle et est dotée d'attributs (slots), qui peuvent porter différentes valeurs (facets), et d'instances [Kif 95]. FLOGIC est l'exemple le plus connu de langage à base de frames ainsi que le langage KIF (Knowledge Interchange Format) [KIF 05]. L'OPEN KNOWLEDGE BASE CONNECTIVITY (OKBC [Cha 98b]), protocole et API de requête et d'interfaçage entre bases de connaissances, utilise également le modèle de frame.
- **Les logiques de description** permettent de représenter les connaissances sous forme de concepts, de rôles et d'individus [Kay 97]. Les rôles sont des relations binaires entre concepts et les individus sont les instances des concepts. Les propriétés des concepts, rôles et individus sont exprimées en logique des prédicats, en particulier les propriétés de subsomption. LOOM [Mac 91] et KL-ONE [Bra 85] sont des exemples de systèmes implémentant ce modèle. Il est de plus utilisé dans le langage de représentation de connaissance OIL [OIL 02] développé pour le Web.
- **Le modèle des graphes conceptuels** : Introduit par SOWA au début des années 80 [Sow 84], le modèle des graphes conceptuels se décompose en deux niveaux : le niveau terminologique où sont décrit les concepts, les relations et les instances de concepts, ainsi que les liens de subsomption entre concepts et entre relations, et le niveau assertionnel où sont représentés les faits, les règles et les contraintes sous forme de graphes où les sommets sont des instances de concepts et les arcs des relations [Che 92]. Ce formalisme est implémenté, entre autres, dans COGITANT, une plateforme de développement de SBC (Systèmes à Base de Connaissances) utilisant les graphes conceptuels [Gen 98] et PROLOG+CG, une extension de PROLOG basée sur les graphes conceptuels [Kab 00].

Quelques uns de ces langages ou des langages utilisant ces modèles sont déjà opérationnels et les ontologies exprimées dans ces formalismes peuvent être directement utilisées en machine. Dans les autres cas, une opérationnalisation de l'ontologie est nécessaire.

4) L'opérationnalisation

L'opérationnalisation consiste à outiller une ontologie pour permettre à une machine, via cette ontologie, de manipuler des connaissances du domaine [Fur 02]. La machine doit donc pouvoir utiliser des mécanismes opérant sur les représentations de l'ontologie. Or, si beaucoup de langages utilisant les modèles cités précédemment autorisent l'expression de connaissances inférentielles, peu sont outillés pour rendre possible la manipulation de ces connaissances.

Le modèle des graphes conceptuels fait exception car la représentation des connaissances sous forme de graphes permet de mettre en oeuvre des raisonnements par des opérations formelles sur les graphes (comparaison, fusion, etc). La façon de mener ces opérations dépend cependant de l'objectif opérationnel du système envisagé.

Dans le cas où le langage d'ontologisation n'est pas opérationnel, il est nécessaire, soit d'outiller ce langage, dans la mesure du possible, soit de transcrire l'ontologie dans un langage opérationnel. Mais certains langages offrent des possibilités de raisonnement limitées

qui peuvent convenir à certaines applications limitées. Par exemple, les langages à base de frames et les logiques de description permettent de savoir si une connaissance donnée, ou une connaissance plus spécifique qu'une connaissance donnée, est présente dans une base de connaissances en utilisant la relation de subsomption. Dans le cas d'un simple système de stockage et de consultation de connaissances, de tels langages sont donc suffisants [Fur 02]. Finalement, l'ontologie opérationnalisée est intégrée en machine au sein d'un système manipulant le modèle de connaissances utilisé via le langage opérationnel choisi. Mais avant d'être livrée aux utilisateurs, l'ontologie doit bien sur être testée par rapport au contexte d'usage pour lequel elle a été bâtie [Fur 02].

5.3.2. Mécanisme de construction de l'ontologie produit

La construction d'une ontologie commune partagée dans un domaine quelconque est un processus complexe. Comme spécifié dans la section précédente, beaucoup de méthodologies de construction d'ontologies ont été citées dans la littérature. Toutes ces techniques convergent pratiquement vers la même définition des étapes majeures du processus de construction d'ontologies qui peuvent se résumer à :

- 1) *L'acquisition ou capture de l'ontologie (ontology capture)*: est l'identification et la définition des concepts clé et des relations sémantiques qui existent entre eux dans le domaine concerné ainsi que les différents termes qui y font référence.
- 2) *Codage de l'ontologie (ontology coding)*: consiste à formaliser les définitions des concepts et des relations dans un langage formel en vue de permettre leur manipulation par des traitements automatiques (programmes, agents).
- 3) *Intégration de l'ontologie (ontology integration)*: consiste à associer les concepts clé et des termes de l'ontologie avec des concepts et des termes d'autres ontologies, c'est à dire l'incorporation des concepts et des termes d'autres domaines.

La première étape commence par une phase d'abstraction des connaissances ayant pour rôle l'identification des connaissances pertinentes d'un domaine. Ces connaissances sont affinées dans l'étape suivante afin de les rendre plus formelles et d'en dériver les concepts, les relations et les attributs de l'ontologie correspondante. Une fois que l'ontologie est encodée, la troisième étape consiste à l'aligner avec d'autres ontologies existantes afin d'en comparer les concepts et les aspects sémantiques communs ou différents. Cette dernière étape revêt une grande importance car c'est à partir d'elle que l'ontologie est concrètement exploitée et/ou enrichie pour couvrir le domaine pour lequel elle a été conçue.

Pour la construction et le parcours de l'ontologie produit proposée, nous avons opté pour l'environnement de développement Protégé2000 et plus particulièrement son plugin OWL (Web Ontology Language), selon l'approche méthodologique proposée par Deborah L. McGuinness [FNM 01]. Ainsi l'ontologie construite sera exprimée en OWL. Le langage OWL est considéré actuellement comme le langage standard d'expression des ontologies le plus récemment développé par le W3C (World Wide Web Consortium) [OWL 04]. Le choix de ce langage est justifié par le fait qu'il possède de nombreux atouts concernant le degré d'expressivité et de subtilité de la sémantique qui peut être exprimée. Un avantage des ontologies OWL résidera dans la mise à disposition d'outils qui pourront effectuer un raisonnement à partir d'elles. Le langage OWL offre trois sous-langages, d'expressivité croissante, conçus pour l'usage de communautés de développeurs et d'utilisateurs spécifiques :

- **Le langage OWL Lite** : concerne les utilisateurs ayant principalement besoin d'une hiérarchie de classifications et de mécanismes de contraintes simples.
- **Le langage OWL DL** : concerne les utilisateurs souhaitant une expressivité maximum sans sacrifier la complétude de calcul (toutes les inférences sont sûres d'être prises en compte) et la décidabilité (tous les calculs seront terminés dans un intervalle de temps

fini) des systèmes de raisonnement. OWL DL se nomme ainsi pour sa correspondance avec la *logique de description*.

- **Le langage *OWL Full*** : est destiné aux utilisateurs souhaitant une expressivité maximum et la liberté syntaxique de RDF sans garantie de calcul.

Pour notre part, nous avons opté pour la version OWL DL du fait qu'elle permet une meilleure exploitation de l'ontologie, en particulier grâce à son expressivité maximale qui permet de mieux appréhender les subtilités sémantiques, la possibilité d'utiliser un mécanisme d'inférence et la décidabilité.

L'utilisation de l'environnement de développement Protégé2000 permet en outre de bénéficier de plusieurs outils intégrés, notamment le reasoner qui est un mécanisme de vérification de la consistance et de la cohérence de l'ontologie.

5.3.3. Description de l'ontologie de produit

L'ontologie de produit que nous proposons ici s'inspire des travaux de S.J. Fenves, R. Sudarsan et al du NIST (National Institute of Standards and Technology) [Fen 04], basés essentiellement sur le Core Product Model ou CPM qui est un modèle conceptuel de base du produit comme illustré dans le diagramme des classes de la Figure 17. Les raisons du choix de ce modèle sont multiples : ce modèle est générique, en ce sens qu'il n'est spécifique à aucune application en particulier, ouvert et extensible et capable de capturer toute l'information produit à travers tout son cycle de vie. De plus, le développement d'un tel modèle par le NIST constitue le préalable à une représentation standardisée du modèle de produit dans une optique cycle de vie. Ce modèle a connu des modifications et des améliorations depuis sa première version [Fen 01] et peut en connaître encore. L'intérêt de son adoption comme modèle de base pour l'ontologie produit que nous proposons ici est double : i) pouvoir bénéficier de ses qualités intéressantes (généricité, ouverture et extensibilité) et ii) pouvoir tester concrètement les opportunités offertes par ce modèle, notamment par l'instanciation de l'ontologie et la possible détection de failles qui pourraient être utilisées pour l'améliorer. Nous envisageons cette possibilité comme perspective à ce travail, en collaboration avec les chercheurs du NIST.

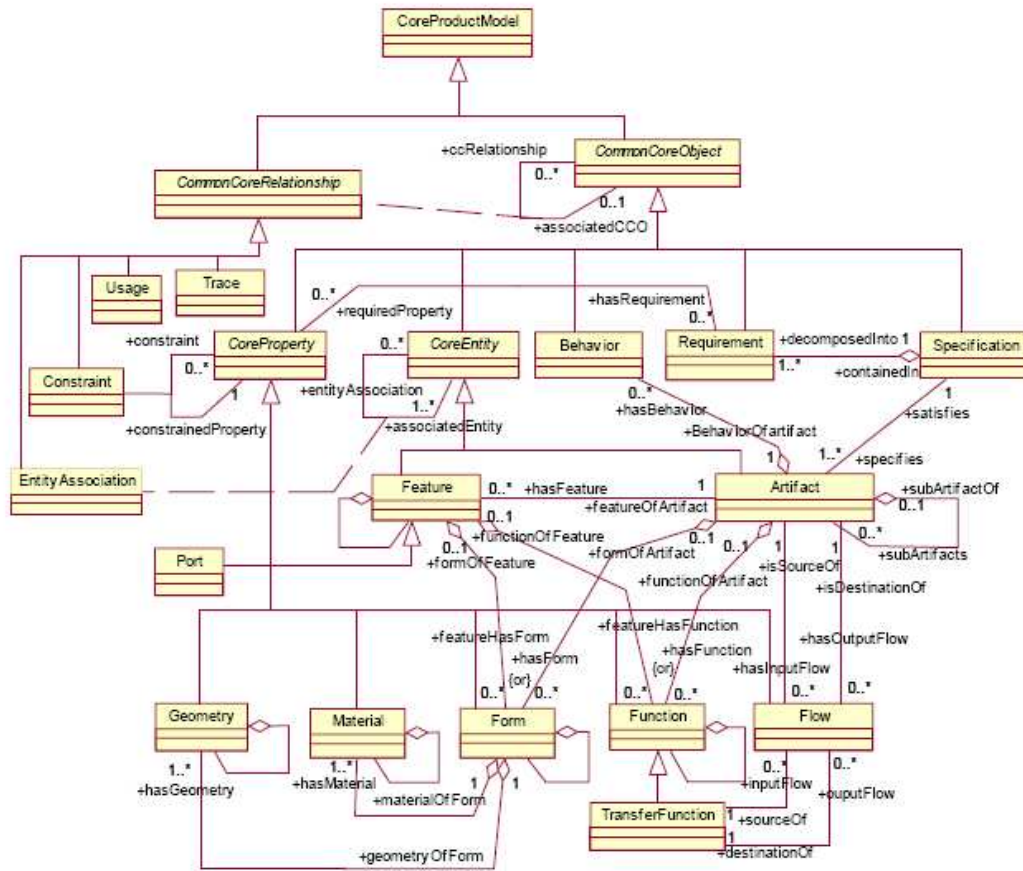


Figure 17 - Diagramme de classes du CPM [Fen 04]

5.3.3.1. Composition de l'ontologie

Les principaux concepts de l'ontologie de produit sont organisés en une hiérarchie (appelée également taxonomie) selon le diagramme de la Figure 18. L'ontologie ayant été développée dans l'environnement Protégé2000 et son plugin OWL DL, la hiérarchie est présentée en utilisant l'éditeur OWL-Viz qui classe les concepts horizontalement et de gauche à droite du plus haut niveau de la hiérarchie, situé à gauche sur le schéma, au plus bas niveau situé à droite. Chaque classe représentant un concept, par conséquent, nous ne ferons pas de distinction entre *concept* (au sens de l'ontologie) et *classe* (au sens UML). On distingue quatre catégories de concepts : les concepts abstraits, les concepts concrets, les concepts exprimant une relation et les concepts utilitaires (correspondant respectivement aux classes abstraites, classes objet, classes association et classe utilitaire).



Figure 18 - Hiérarchie des principaux concepts de l'ontologie de produit

1) Concepts abstraits

Ce sont principalement des concepts qui représentent les sommets de la hiérarchie et qui sont utilisés pour stocker les attributs communs. Ces concepts n'ont pas d'instances propres, ils ne peuvent être instanciés qu'à travers leurs concepts fils qui sont des concepts concrets. Dans l'ontologie de produit, on distingue cinq concepts abstraits :

- **CoreProductModel**: représentant la racine de la hiérarchie, tous les autres concepts de l'ontologie en sont des sous-classes (ou des spécialisations en terme d'UML). Ce concept comporte trois attributs communs à tous les concepts : *type*, *nom* et *information*.
- **CommonCoreObject** : représente un concept générique de base pour différents objets dans la hiérarchie.
- **CommonCoreRelationship** : représente le concept de base pour des concepts représentant différentes relations ou associations entre des concepts de la classe CommonCoreObject. Les relations *EntityAssociation*, *Constraint*, *Usage* et *Trace* en sont des spécialisations.
- **CoreProperty** : concept abstrait, sous-classe de la classe *CommonCoreObject*, décrivant les propriétés des objets du CPM dont les classes : *Function*, *Form*, *Geometry* et *Material* sont des spécialisations. Les instances de la classe *Constraint* peuvent associer les instances de cette classe pour décrire différents types de contraintes (géométriques, de forme, fonctionnelles, matérielles)
- **CoreEntity** : est un concept abstrait, sous-classe de la classe *CommonCoreObject*, de laquelle sont dérivés les concepts de *Feature* et d'*Artifact*.

- **Feature** : est un concept abstrait qui signifie selon ses spécialisations, une partie de la forme du produit (référéncé par le concept concret d'*Artifact*) ayant une fonctions spécifique ou une signification particulière. Ainsi, un *Artifact* peut avoir un ou plusieurs features de conception, d'analyse, et/ou de fabrication comme spécifié sur la hiérarchie où on distingue respectivement les concepts de *DesignFeature*, *AssemblyFeature*, *ManufacturingFeature* et *AnalysisFeature* comme spécialisations de la classe *Feature*... Définis par leurs fonctions et formes respectives. Un *Feature* peut être simple ou composé.

2) Concepts concrets

Ce sont des concepts qui se trouvent au niveau des feuilles de la hiérarchie. Ils constituent des concepts qui ont des instances. On en distingue dix :

- **Artifact** :représente le concept de base du CPM, autour duquel s'articulent tous les liens sémantiques décrit par les autres concepts concrets et les relations qui existent entre-eux. Un *Artifact* dénote un produit qui peut être un composant, une pièce, un sous-assemblage ou un assemblage. Toutes ces entités peuvent être représentées et reliées à travers les liens de type agrégat/agrégé comme la relation *subArtifactOf* et *Subartifacts*. Les attributs de la classe *Artifact* sont décrits par les classes: *Specification*, *Form*, *Function*, *Behaviour* et *Feature* qui forment des agrégations décrivant l'*Artifact* (voir Figure 17).
- **DesignFeature** : est une spécialisation de la classe *Feature* qui représente un feature de conception.
- **AssemblyFeature** : est une spécialisation de la classe *Feature* qui représente un feature d'assemblage.
- **ManufacturingFeature** : est une spécialisation de la classe *Feature* qui représente un feature de fabrication.
- **AnalysisFeature** : est une spécialisation de la classe *Feature* qui représente un feature d'analyse.
- **Port** : est une spécialisation de la classe *Feature* parfois référéncée par feature d'interface et qui représente une partie de l'*Artifact* qui lui sert à se connecter à d'autres *Artifacts*. Des instances possibles de cette classe sont les points de contrôle ou de connexion dans certains contextes ou des features d'assemblage à travers lesquelles les composants se joignent dans d'autres contextes.
- **Specification** : représente la collection d'informations relatives à un *Artifact* déduites des besoins des clients et/ou des besoins d'ingénierie. La spécification représente le contenant (ou le support) des besoins spécifiques que la fonction, la forme, la géométrie et le matériau de l'*Artifact* doivent satisfaire.
- **Requirement** : est un élément spécifique de la spécification d'un *Artifact* qui régit certains aspects de sa fonction, sa forme, sa géométrie et son matériau. Théoriquement (ou conceptuellement), les besoins ne devraient affecter que la fonction de l'*Artifact* ou le comportement voulu. En pratique, certains besoins affectent directement la solution retenue par la conception pour les paramètres de forme, géométrie ou matériau de l'*Artifact* conçu.
- **Fonction** : représente un aspect parmi ceux que l'*Artifact* est supposé satisfaire. L'*Artifact* satisfait les besoins d'ingénierie à travers sa fonction, connue également sous le nom de *comportement voulu* ou *required behaviour*.
- **Behaviour** : (ou comportement) décrit comment l'*Artifact* implémente sa fonction. Le Comportement est régi par les principes d'ingénierie incorporés dans un modèle comportemental. L'application d'un *modèle comportemental* (*Behavioural model*) à

l'*Artifact* décrit son *comportement observé* (observed behaviour) basé sur sa forme. Le comportement observé peut alors être évalué par rapport aux besoins pour aboutir au comportement évalué. Par conséquent, la classe *Behaviour* admet trois attributs : Behavioral Model, observed Behaviour et Evaluated Behaviour.

- **Form** : la forme d'un *Artifact* peut être vue comme la solution de conception proposée au problème de conception spécifié par la fonction. Dans le modèle CPM, les caractéristiques physiques de l'*Artifact* sont représentées à travers les propriétés de géométrie (geometry) et de matériau (material).
- **Geometry** : est la description spatiale (dans l'espace 3-D) de l'artefact.
- **Material** : est la description de la composition matérielle (le/les matériaux) de l'artefact.

3) Concepts utilitaires

- **Information** : est une classe utilitaire contenant trois attributs distincts :
 - **Description** : contient une brève description textuelle d'un concept
 - **Documentation** : contient une documentation textuelle plus importante sur le concept décrit ou encore une chaîne de caractère contenant un chemin ou une URL vers un fichier contenant cette description.
 - **Propriétés** : contient un ensemble de couples : attribut-valeur représentant les attributs spécifiques à un domaine particulier.
- **ProcessInformation** : représente les attributs relatifs au processus de développement de produit tels que l'état de développement, le niveau, la désignation de version ou d'autres paramètres propres au développement de produit. Ce concept est un attribut de la classe *Artifact*.
- **Rationale** : représente des attributs qui enregistrent des informations de justification et d'explication d'une décision particulière dans le processus de développement du produit. Ce concept est un attribut de la classe *CoreProperty* et de toutes ses spécialisations.

4) Concepts exprimant une relation

- **Constraint** : est une propriété spécifique partagée par un ensemble d'entités qui doit être toujours vérifiée par ces dernières. Les instances des entités contraintes sont identifiées. Si la contrainte doit représenter une égalité ou une inégalité au sens mathématique, l'attribut *Propriétés* de la classe *Information* associée à cette contrainte peut contenir par exemple les noms des attributs qui entrent dans la contrainte ainsi que la relation qui les relie (égalité ou inégalité dans ce cas).
- **EntityAssociation** : exprime une relation qui exprime une association entre artefacts ou features. Cette relation peut être spécialisée, par exemple en la classe *Artifact Association* qui exprime une classe de relation entre artefacts.
- **Usage** : représente une relation de mapping (mise en correspondance) entre une entité de la classe *CommonCoreObject* dite source vers une autre entité de la même classe dite cible. Cette classe de relation est particulièrement utile pour exprimer des contraintes qui s'appliquent à une entité cible spécifique mais pas à l'entité source générique, ou bien lorsque l'entité source réside dans un catalogue ou un entrepôt de conception (design repository) externe.
- **Trace** : a la même structure que la classe *Usage*. Cette relation est particulièrement utile lorsque l'entité cible dans la description de produit courante dépend d'une entité source dans une autre description de produit. L'attribut *type* de cette classe spécifie la nature de cette dépendance comme suit :

- *Alternative_of*: ce lien pointe d'une alternative à une autre au plus haut niveau de la décomposition hiérarchique de l'artefact (le produit) où deux ou plusieurs alternatives différentes, répondant à un même ensemble de besoins dans un processus de développement de produit peuvent exister;
- *Version_of*: ce lien pointe d'une version à une version différente au plus haut niveau de la décomposition hiérarchique de l'artefact (en supposant qu'une nouvelle version vient supplanter une autre version précédemment conçue et que cette nouvelle version vient répondre à des changements exprimés dans les besoins, à leur tour ces nouveaux besoins peuvent être exprimés de la même manière en *versions* des besoins initiaux);
- *Derived_from*: similaire à *Version_of*, ce lien permet de décrire des familles de produits (produits et leurs dérivés);
- *Is_same_as* : ce lien identifie un sous-artefact de l'artefact original, identique à l'alternative, la version ou le dérivé de cet artefact.

Les relations de type associations et agrégation forment également une partie fondamentale du CPM. Ainsi, tous les concepts Objet concrets (spécialisations de la classe *CommonCoreObject*) ont leur propre hiérarchies de décompositions, plus connues sous les noms de hiérarchies de type « est un » (is-a) ou « est une partie de » (is-part-of). Ces relations de décomposition sont représentées par les attributs tels que *subArtifactOf/subArtifacts*.

De plus il existe des associations entre :

- Une *Specification* et l'*Artifact* qui en résulte
- Un *Artifact* et un *Feature*.

Concernant les relations de type agrégation, il y-en a un nombre important et elles jouent un rôle fondamentale dans le CPM, ainsi :

- *Function*, *Form* et *Behaviour* forment des agrégations au niveau de la classe *Artifact*
- *Function* et *Form* forment des agrégations au niveau de la classe *Feature*.
- *Geometry* et *Material* forment des agrégations au niveau de la classe *Form*
- *Requirement* forme une agrégation au niveau de la classe *Specification*.

5.3.4. Instanciation de l'ontologie de produit

Pour exploiter les différentes possibilités offertes par l'ontologie de produit proposée, Nous allons procéder à son instanciation avec plusieurs exemples de produits. Ces exemples proviennent de deux sources distinctes : des exemples « théoriques » de produits trouvés sur Internet et des exemples de produits concrets du secteur industriel fournis par des entreprises manufacturières nationales.

Le choix de ces deux types d'exemples permettra de mieux évaluer les potentialités réelles de l'ontologie proposée pour un plus large spectre de produits.

Il est à noter que la description des exemples de produits utilisés ici nécessite une connaissance préalable du domaine de la conception mécanique, ce qui est en dehors du contexte de cette étude. La description complète et détaillée de l'ensemble des pièces composant ces produits n'est pas toujours disponible, dans certains cas en effet, des informations concernant certains détails tels que la géométrie, le matériau ou la composition en terme de features ne sont pas données explicitement dans la documentation technique qui décrit les produits. Dans ces cas, nous avons fait une description la plus générique possible en omettant certains détails spécifiques et en mettant l'accent surtout sur l'instanciation de l'ontologie et son exploitation dans un contexte de cycle de vie.

5.3.4.1. Exemple de produits du secteur académiques

De nombreux exemples de produits sont disponibles à partir de sites académiques de recherche. Nous en exposerons un ici : the vacuum suitcase.

Exemple de produit : vacuum suitcase

The vacuum suitcase (ou caisse à vide dans sa traduction mot à mot) est utilisée pour permettre la manipulation sous vide de plaques de silicium destinées à contenir des circuits intégrés. Cet exemple est disponible sur le site de l'entrepôt électronique de l'université de Drexel à l'URL <http://www.designrepository.org/>¹⁰.

Description technique

L'exemple « vacuum suitcase » est un prototype de produit pour le transport sous vide de circuits VLSI et de puces entre différents modules de fabrication. Il se compose de quinze (15) pièces, comme illustré sur la Figure 19. La liste des pièces est détaillée dans le Tableau 9.

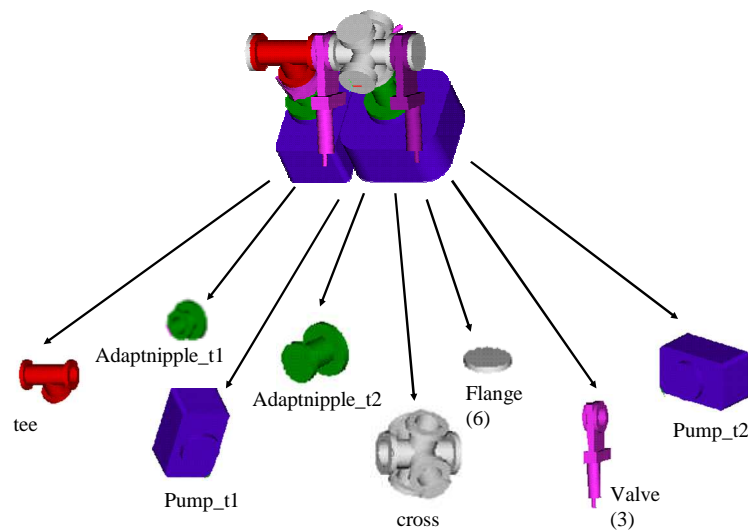


Figure 19 – Pièces composant le produit vacuum suitcase

¹⁰ Pourrait avoir été modifié.

Tableau 9 – Liste des pièces du produit vacuum suitcase

Nom de la pièce*	Quantité	Fonction de la pièce
Tee	1	Connecter la pièce pump_t1 avec la pièce cross via la pièce flange.
<i>Adaptnipple_t1</i>	1	Ajuster la pièce valve avec la pièce pump_t1.
<i>Adaptnipple_t2</i>	1	Ajuster la pièce valve avec la pièce pump_t2.
<i>Flange</i>	6	Maintenir les composants en place et couvrir les pièce tee et cross pour sécuriser l'ensemble du système.
<i>Cross</i>	1	Connecter la pièce pump_t2 avec la pièce cross via les pièces flanges
Pump_t1	1	Assurer l'aspiration du liquide ou gaz à l'intérieur de la caisse.
Pump_t2	1	Assurer L'expulsion de liquide ou gaz à l'extérieur de la caisse.
Valve	3	Ouvrir ou fermer les ouvertures pour permettre la circulation de liquide ou de gaz depuis l'extérieur vers la caisse ou vice-versa.

* les noms techniques des pièces sont d'origine en anglais, une traduction en français pourrait en en altérer le sens.

Cet exemple a été utilisé dans une étude dont les résultats sont résumés dans [Mos 05b]. De plus la terminologie utilisée à l'origine dans la description de ce produit est en anglais. Une traduction approximative en français de certains termes techniques pourrait ne pas en rendre la sémantique exacte, c'est pourquoi, nous avons préféré garder les noms des pièces dans leur version anglaise d'origine.

Description de la composition de l'assemblage du Vacuum suitcase

Le vacuum suitcase est composé principalement de deux assemblages, comme illustré sur la Figure 20, à savoir :

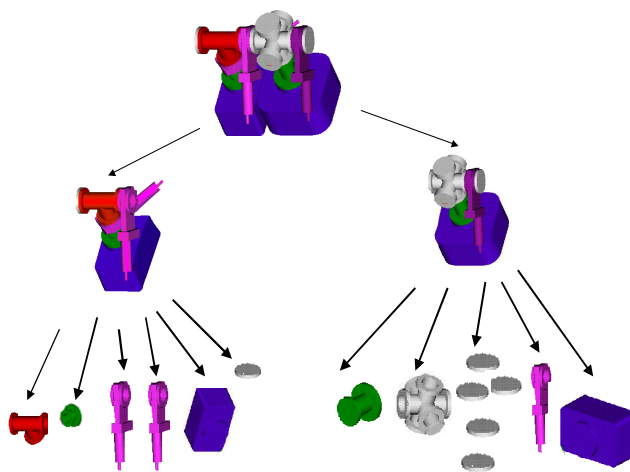


Figure 20 - Hiérarchie d'assemblage du produit vacuum suitcase

- (1) L'assemblage *system_pump1*, composé des pièces: *pump_t1*, *adapt nipple_t1*, *flange*, *tee* et deux (2) *valves*;
- (2) L'assemblage *system_pump2*, composé des pièces: *pump_t2*, *adapt nipple_t2*, *cross*, cinq (5) *flanges* et *valve*.

Implémentation dans l'environnement Protégé-OWL

L'implémentation de l'exemple du vacuum suitcase dans l'environnement Protégé-OWL est principalement basée sur la création de l'ontologie de produit et son instanciation. Ceci est illustré sur la Figure 21 qui montre une fenêtre de l'environnement Protégé-OWL avec à gauche la hiérarchie de classe correspondant à l'ontologie du produit et à droite l'ensemble des occurrences de la classe *Artifact* correspondant à l'exemple du vacuum suitcase et ses différents composants. Un plugin spécial dans protégé2000, TGViz permet de visualiser la représentation graphique des instances et les liens ou propriétés qui existent entre elles. Nous avons choisi de représenter la propriété « *subArtifacts* » et « *subArtifactOf* » pour montrer la composition hiérarchique d'un ensemble et de ses composants. La Figure 22 montre que le vacuum suitcase se compose de deux ensembles : *systemp1* et *systemp2*, décomposés à leur tour en composants plus simples : les différentes pièces.

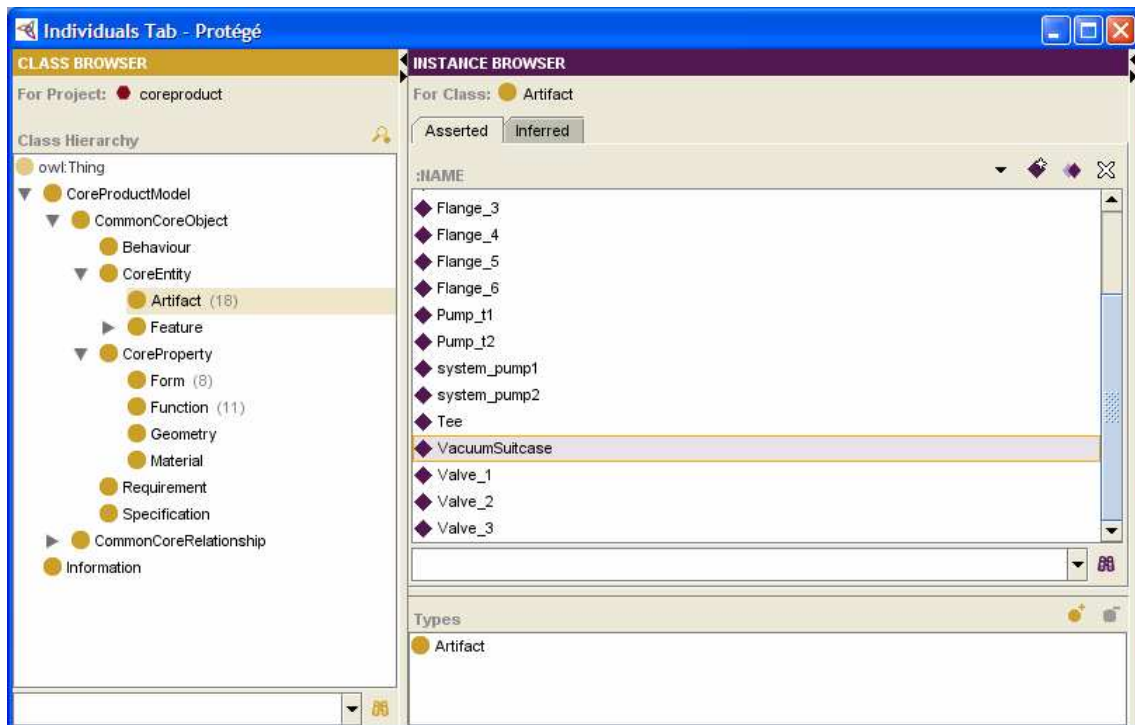


Figure 21 - Implémentation du vacuum suitcase

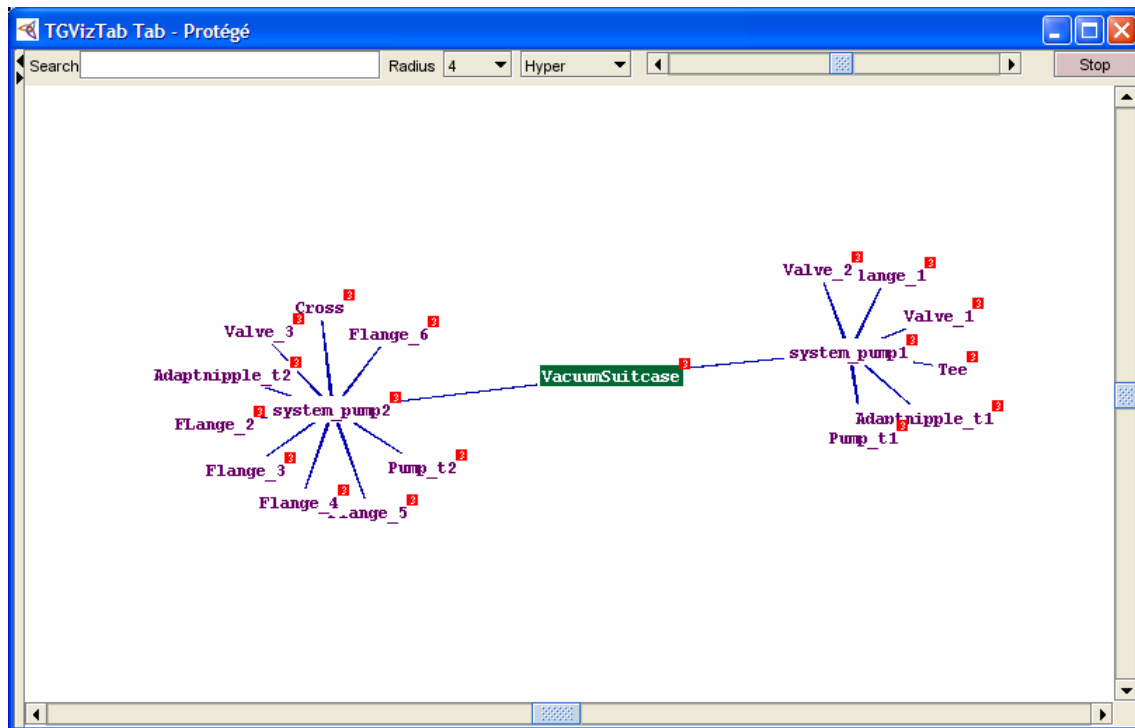


Figure 22 - Représentation graphique de l'occurrence du vacuum suitcase

5.3.4.2. Exemples de produits du secteur industriel

Les produits du secteur industriel testés au niveau de notre ontologie nous ont été fournis par deux entreprises industrielles nationales. L'intérêt de présenter des exemples concrets de produits du secteur industriel est très important en ce sens qu'il pourrait réellement contribuer à mieux tester les possibilités de l'ontologie proposée et mieux la valider.

Nous avons utilisé des exemples de produits fournis principalement par deux entreprises nationales :

- l'entreprise ENMTP (Entreprise Nationale des Matériels de Travaux Publics) de Ain Smara (<http://www.enmtp.com/index.htm>)

- L'entreprise PMO (Production de Machines Outils) et sa filiale ALEMO (ALgérienne des Equipements Machine Outils) située à Oued Hamimime, El Khroub. (http://www.sgpequipag.dz/presentation_pmo.htm)

Pour plus de détails sur ces entreprises, se reporter à l'annexe 2.

Exemple 1 : la pompe double à cylindrée variable

Cet exemple fourni par l'entreprise ENMTP représente un exemple de produit industriel complexe, en ce sens qu'il renferme plusieurs assemblages et un nombre important de pièces.

Description technique

La pompe double à cylindrée variable est un exemple typique de produit complexe, la version décrite ici est le modèle de pompe double à cylindrée variable A8VOSR, illustrée sur la Figure 23. Ce produit est composé de trois (3) groupes (ou assemblages) et de six (6) pièces.

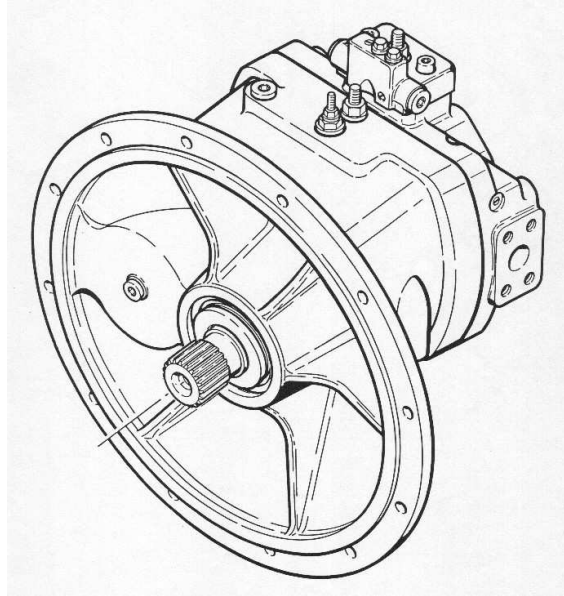


Figure 23 - Pompe double à cylindrée variable A8VOSR

Ce produit est un ensemble composé de Trois (3) sous-ensembles (assemblages), à savoir :

- Le réglage
- Le rotor_hydrostatique1 (ascendant à droite, tournant à gauche)
- Le rotor_hydrostatique2 (ascendant à gauche, tournant à droite)

Et des pièces simples suivantes :

- carter de pompe
- Anneau de fermeture
- Circlip
- Joint d'arbre
- Joint torique
- Bouchon (x2)

Ces éléments sont visualisés sur la Figure 24 qui donne une vue éclatée de la pompe double à cylindrée variable

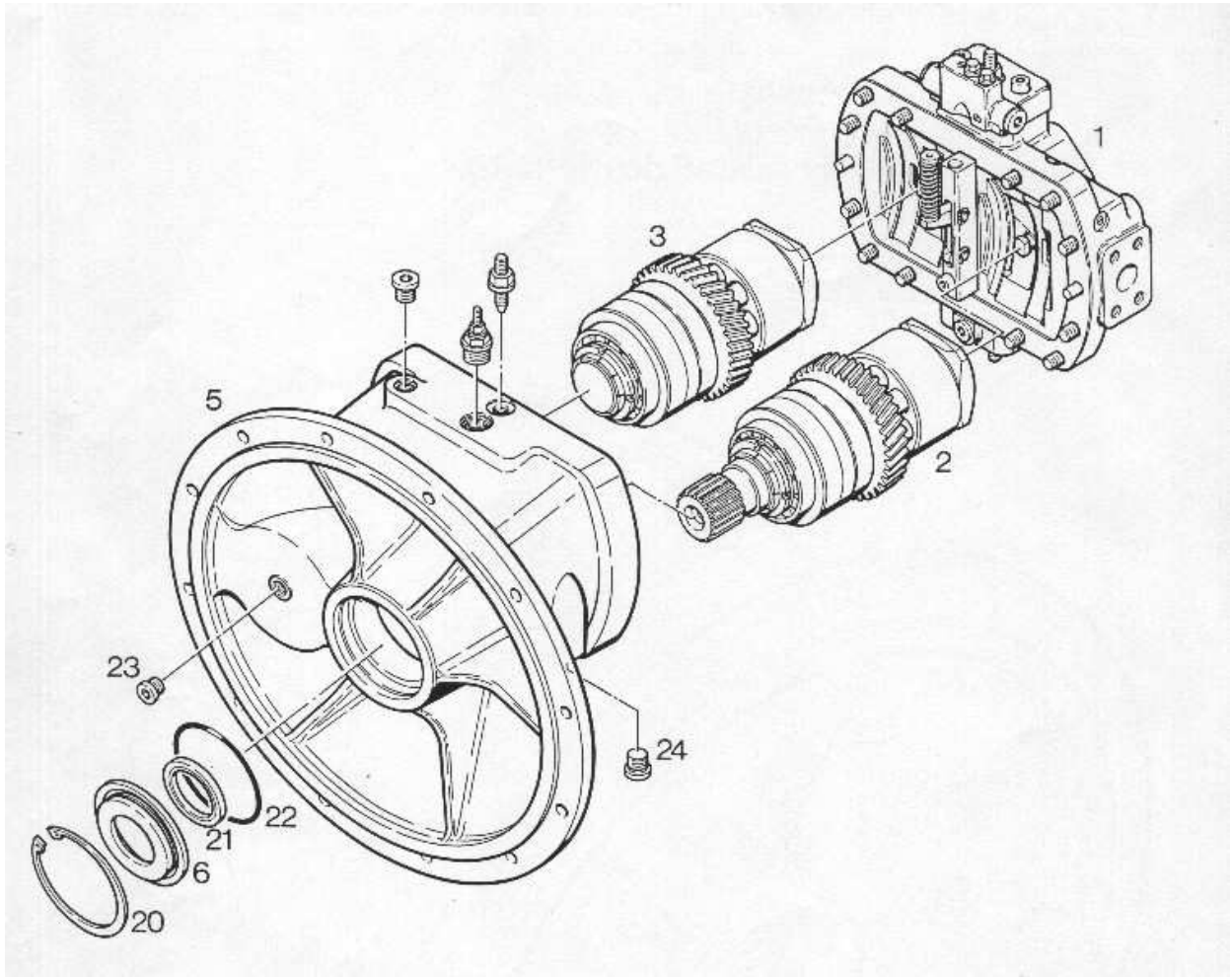


Figure 24 - Vue éclatée de la pompe double à cylindrée variable

Ces éléments numérotés dans la Figure 24 sont décrits dans le Tableau 10 ci-dessous.

Tableau 10 - Liste d'ensemble des pièces de la pompe double à cylindrée variable

Position	Nom de pièce	Quantité	Type *
1	Réglage	1	G
2	Rotor hydrostatique 1	1	G
3	Rotor hydrostatique 2	1	G
5	Carter de pompe	1	P
6	Anneau de fermeture	1	P
20	Circlip	1	P
21	Joint d'arbre	1	P
22	Joint torique	1	P
23,24	Bouchon	2	P

* P :pièce simple ; G : groupe d'assemblage

Les trois ensembles (ou assemblages) qui composent la pompe double à cylindrée variable sont :

- **L'ensemble Réglage**

Constitue un ensemble complexe de 44 pièces numérotées sur la Figure 25 et référencées dans le Tableau 11.

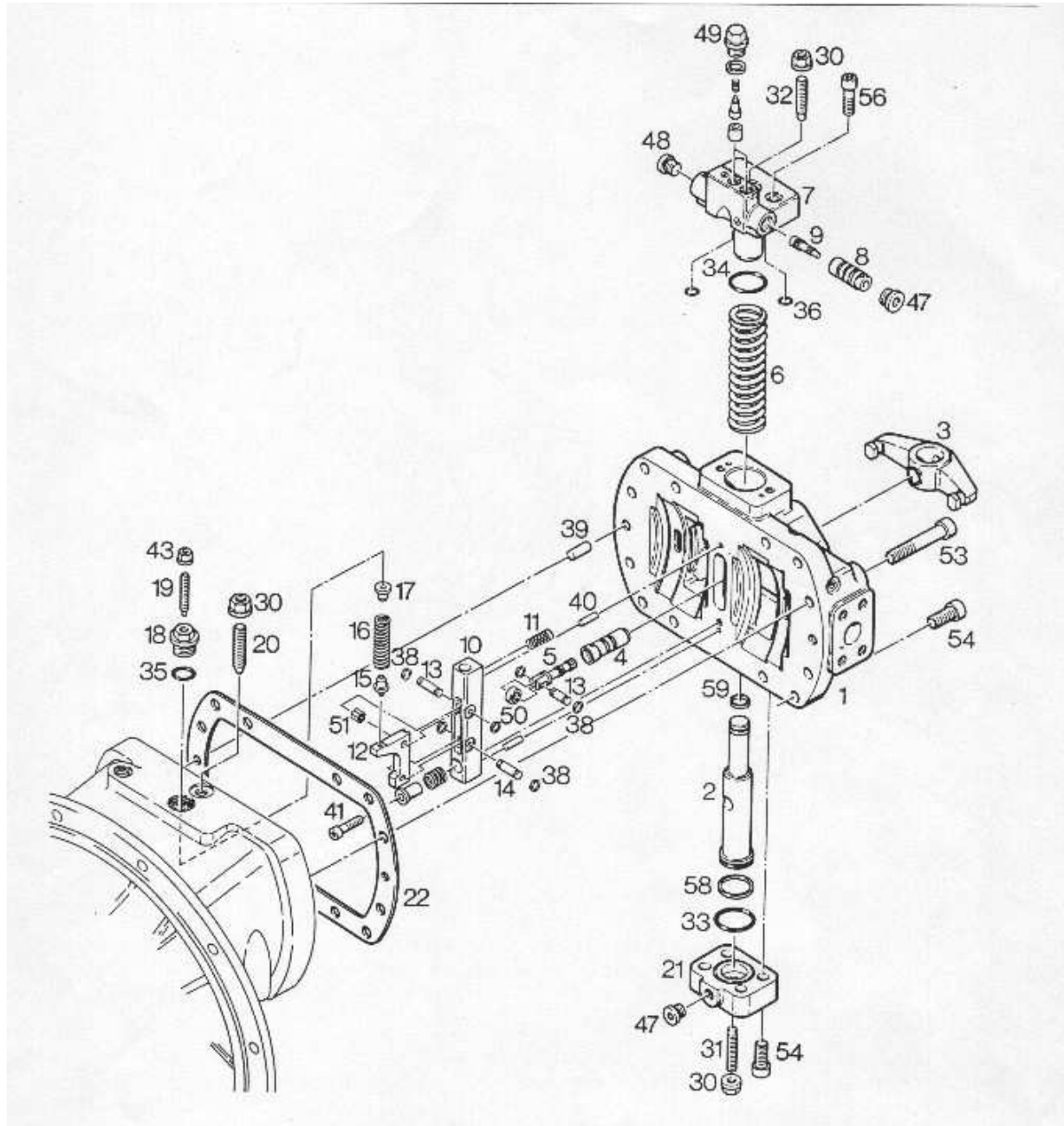


Figure 25 - Vue éclatée de l'ensemble réglage

Tableau 11 - Liste d'ensemble des pièces de l'ensemble Réglage pour A8V

Position	Nom de pièce	Quantité	Type *
1	Carter de régulateur	1	P
2	Piston de position	1	P
3	Fourchette d'inclin.	1	P
4	Douille de commande	1	P
5	Piston de commande	1	P
6	Ressort de pression	1	P
7	Carter	1	P
8	Douille de commande	1	P
9	Piston de commande	1	P
10	Support	1	P
11	Ressort de pression	1	P
12	Levier de régulateur	1	P
13	Cheville	2	P
14	Cheville	1	P
15	Coupelle de ressort	1	P
16	Ressort de pression	1	P
17	Coupelle de ressort	1	P
18	Bouchon	1	P
19	Goupille filetée	1	P
20	Goupille filetée	1	P
21	Couvercle	1	P
22	Joint	1	P
30	Ecrou à collet S.L.	3	P
31	Goupille filetée	1	P
32	Goupille filetée	1	P
33	Joint torique	1	P
34	Joint torique	1	P
35	Joint torique	1	P
36	Joint torique	1	P
38	Disque de sûreté	6	P
39	Goupille cylindrique	2	P
40	Goupille cylindrique	2	P

* P : pièce simple ; G : groupe d'assemblage

L'ensemble Rotor hydrostatique1 : Par rotor hydrostatique1, on entend un rotor hydrostatique de type ascendant à droite, tournant à gauche. Cet ensemble est composé d'un groupe : le rotor hydrostatique11 (ou élément hydraulique) et de 6 pièces numérotées sur la Figure 26 et référencées dans le Tableau 12.

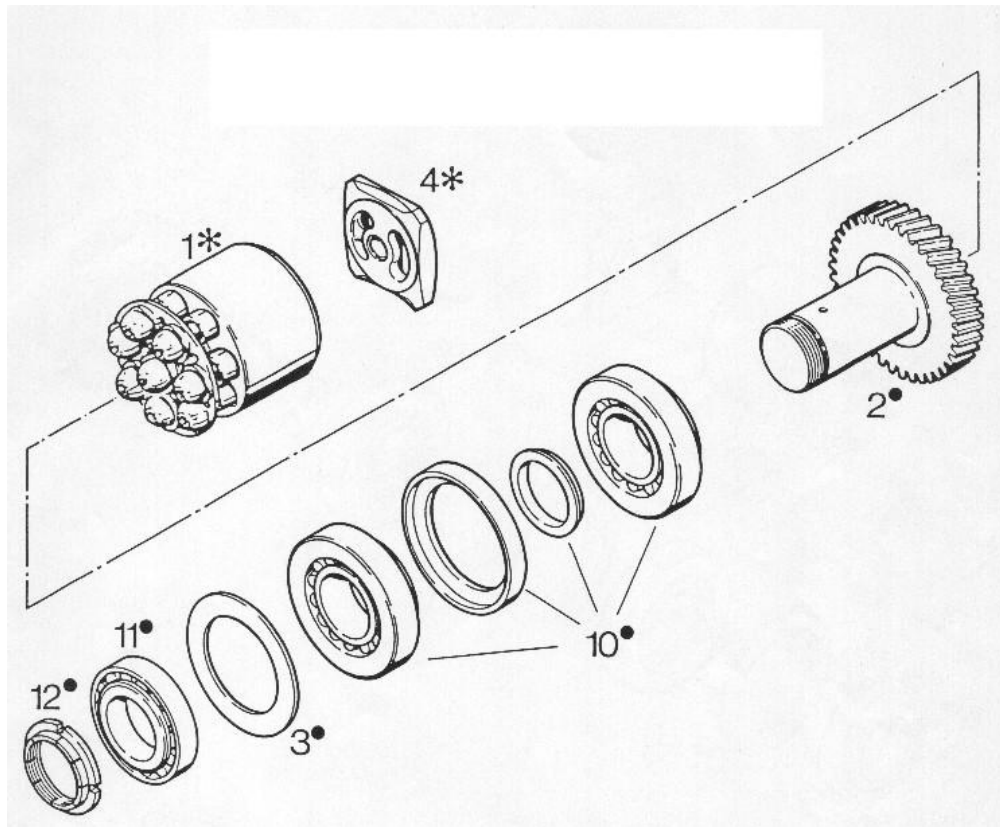


Figure 26 - Vue éclatée de l'ensemble rotor hydrostatique1

Tableau 12 - Liste d'ensemble des pièces de l'ensemble Rotor hydrostatique1

Position	Nom de pièce	Quantité	Type *
1	Rotor hydrostatique11	1	G
2	Arbre d'entraînement	1	P
3	Disque d'ajustage	1	P
4	Plaque de distribution	1	P
10	Roulem.à roul.con1	1	P
11	Roulem.à roul.con2	1	P
12	Ecrou cylindrique à gorge	1	P

* P :pièce simple ; G : groupe d'assemblage

- **L'ensemble Rotor hydrostatique2** : Par rotor hydrostatique2, on entend un rotor hydrostatique de type ascendant à gauche, tournant à droite. Cet ensemble est composé d'un groupe : le rotor hydrostatique11 (ou élément hydraulique) et de 6 pièces numérotées sur la Figure 27 et référencées dans le Tableau 13.

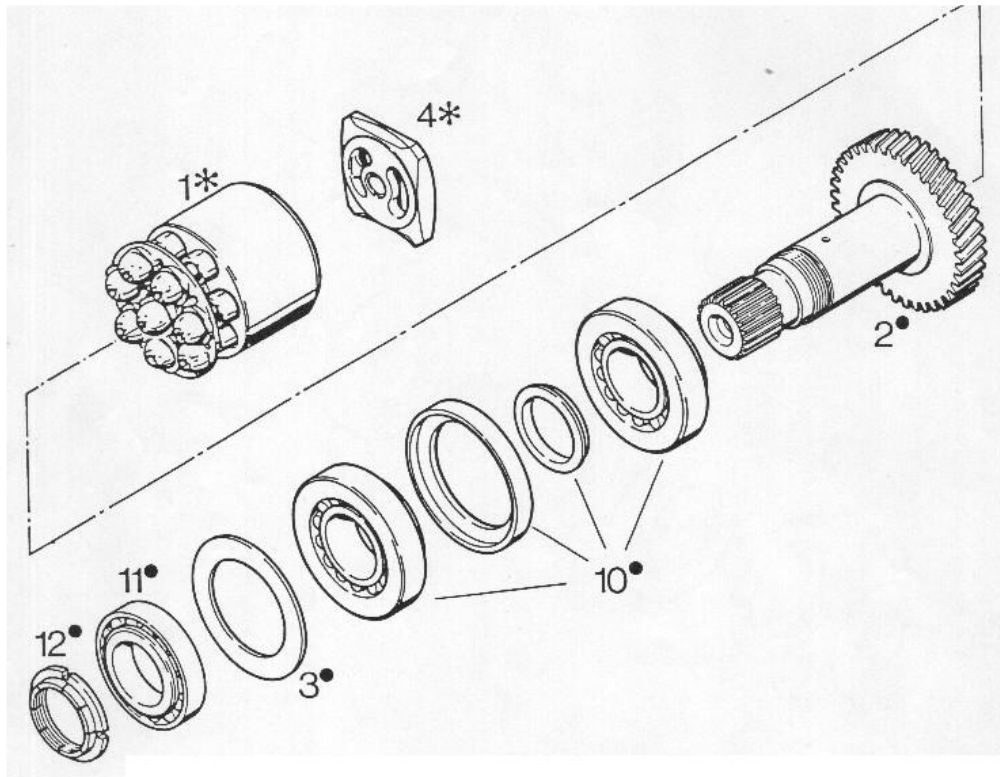


Figure 27 - Vue éclatée de l'ensemble rotor hydrostatique2

Tableau 13 - Liste d'ensemble des pièces de l'ensemble Rotor hydrostatique2

Position	Nom de pièce	Quantité	Type *
1	Rotor hydrostatique11	1	G
2	Pignon	1	P
3	Disque d'ajustage	1	P
4	Plaque de distribution	1	P
10	Roulem.à roul.con1	1	P
11	Roulem.à roul.con2	1	P
12	Erou cylindrique à gorge	1	P

* P :pièce simple ; G : groupe d'assemblage

Après la description des ensembles composant la pompe double à cylindrée variable, nous donnons ci-dessous la description de l'ensemble **rotor hydrostatique11 ou élément hydraulique**. La Figure 28 en donne une vue éclatée dont les pièces sont référencées sur le Tableau 14.

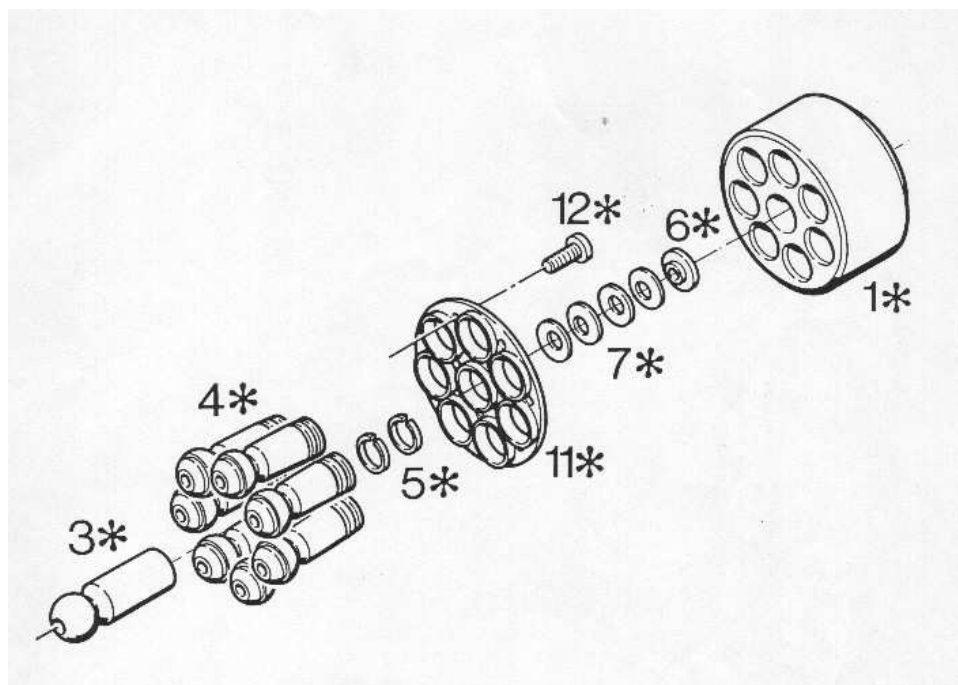


Figure 28 - Vue éclatée de l'ensemble rotor Hydrostatique11, élément hydraulique

Tableau 14 - Liste d'ensemble des pièces de l'ensemble Rotor hydrostatique11, élément hydraulique

Position	Nom de pièce	Quantité	Type *
1	Barillet	1	P
3	Axe central	1	P
4	Piston	7	P
5	Anneau	14	P
6	Coupelle de ressort	1	P
7	Ressort Belleville	4	P
11	Plaque de retenue	1	P
12	Vis bombée	14	P

* P :pièce simple ; G : groupe d'assemblage

Implémentation dans l'environnement Protégé-OWL

L'implémentation de l'exemple de la pompe double à cylindrée variable dans l'environnement Protégé-OWL est matérialisée par la création des instances correspondant aux différents composants. Ceci est illustré sur la Figure 29 qui montre la composition de l'ensemble de la pompe double à cylindrée variable avec quelques uns de ses sous ensembles principaux : rotor hydrostatique1 et rotor hydrostatique2.

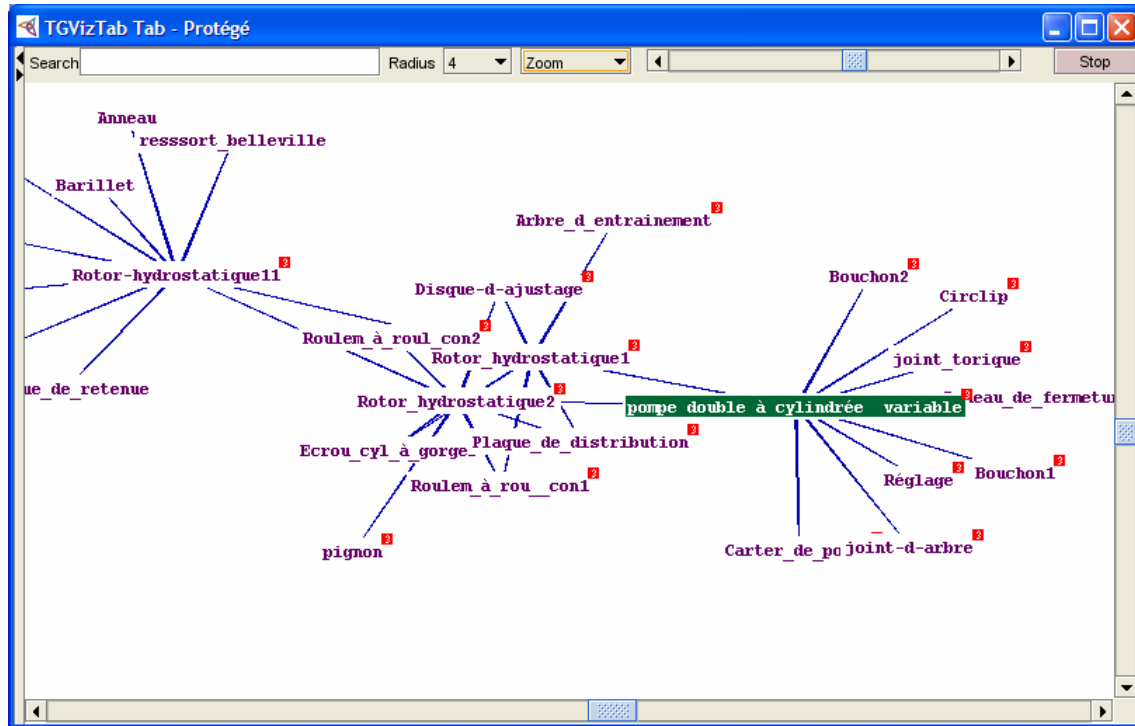


Figure 29 - Implémentation de la pompe double à cylindrée variable

Exemple 2 : la tournette

Cet exemple fourni par l'entreprise PMO/ALEMO représente un autre type de produit industriel. La tournette, illustrée par la Figure 30 se présente sous forme d'un plateau circulaire tournant sur lequel sont placées les pièces de céramique pour être tournées ou peintes. Selon le dictionnaire français en ligne lexilogos¹¹, la *tournette* est un *plateau tournant sur lequel l'ouvrier place son ballon de pâte qu'il façonne avec la main en le faisant tourner (...) avec l'autre main.*

¹¹ http://www.lexilogos.com/francais_langue_dictionnaires.htm



Figure 30 - La tournette

Description technique

C'est un ensemble de 10 pièces, comme illustré sur le Tableau 15: tri pied, colonne, douille de serrage, axe porte roulement, plateau, roulement, rondelle, vis à tête fraisée, circlips et cheville fileté.

Figure 31 montrent respectivement les pièces : (a) tri pied et (b) plateau la Figure 32 montre une partie démontée de la tournette où sont visibles de bas en haut: le tri pied, la colonne, l'axe porte roulement (à l'intérieur de la colonne) le circlip et la douille de serrage.



(a)



(b)

Figure 31 -Quelques pièces de l'ensemble de la tournette



Figure 32 - Partie de la tournette

Tableau 15 - Liste des pièces de l'ensemble de la tournette

Nom de pièce	Quantité	Type *	Matériau
Tri pied	1	P	Aluminium
Colonne	1	P	
Douille de serrage	3	P	
Axe porte roulement	1	P	Acier de revenu
Plateau Ø 190	1	P	Aluminium
Roulement Ø25xØ47x14	1	P	
Rondelle	1	P	Acier de revenu
Vis à tête fraisée	1	P	
Circlip	1	P	
Cheville fileté	1	P	

* P :pièce simple ; G : groupe d'assemblage

Implémentation dans l'environnement Protégé-OWL

L'implémentation de l'exemple de la tournette dans l'environnement Protégé-OWL est matérialisée par la création des instances correspondant aux différents composants. Ceci est illustré sur la Figure 33 qui montre la composition de l'ensemble de la tournette. Toutes les occurrences de pièces de l'ensemble sont visibles sur le schéma, le nombre de pièce étant limité

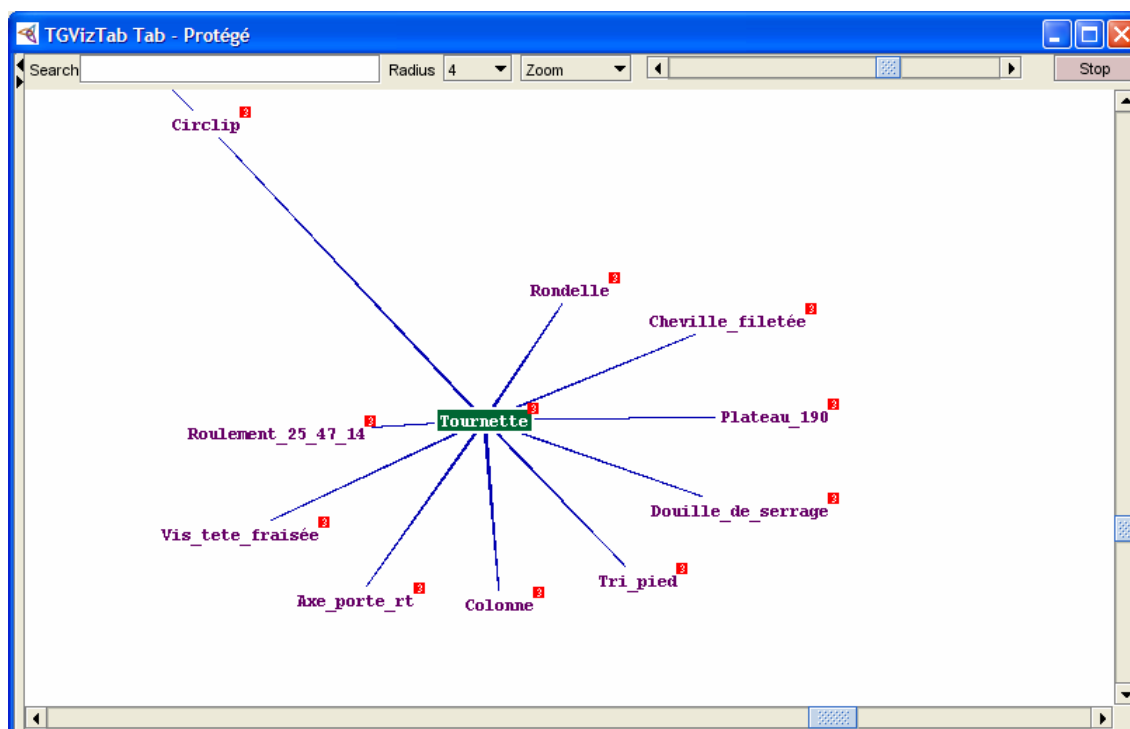


Figure 33 - Implémentation de l'exemple de la tournette

5.3.5. Exploitation de l'ontologie de produit

L'ontologie proposée pourrait être exploitée de différentes manières dans un contexte cycle de vie, nous montrons à travers quelques exemples quelques exploitations possibles dans ce sens, principalement à travers trois approches :

- Mécanisme de requêtes
- Parcours de l'ontologie
- Utilisation du mécanisme d'inférence

5.3.5.1. Exploitation par un mécanisme de requêtes

L'environnement Protégé2000 dispose d'un plugin qui permet de faire des requêtes sur les instances de l'ontologie. Les requêtes peuvent être également stockées dans une bibliothèque de requêtes à partir de laquelle elles peuvent être extraites et exécutées. Nous avons pu tester quelques requêtes typiques telles que :

- quels sont les sous assemblages d'un produit
- quelles pièces entrent dans la composition d'un assemblage particulier
- quels sont les features de conception qui existent sur une pièce particulière...

La Figure 34 montre un écran de requête typique de l'environnement de protégé2000 montrant en haut les classes et les propriétés (slots) utilisées dans la requête, en bas le nom de la requête permettant de la mémoriser et de la référencer ultérieurement dans la bibliothèque de requêtes et à droite le résultat de la requête, c'est-à-dire les instances des classes qui la satisfont.

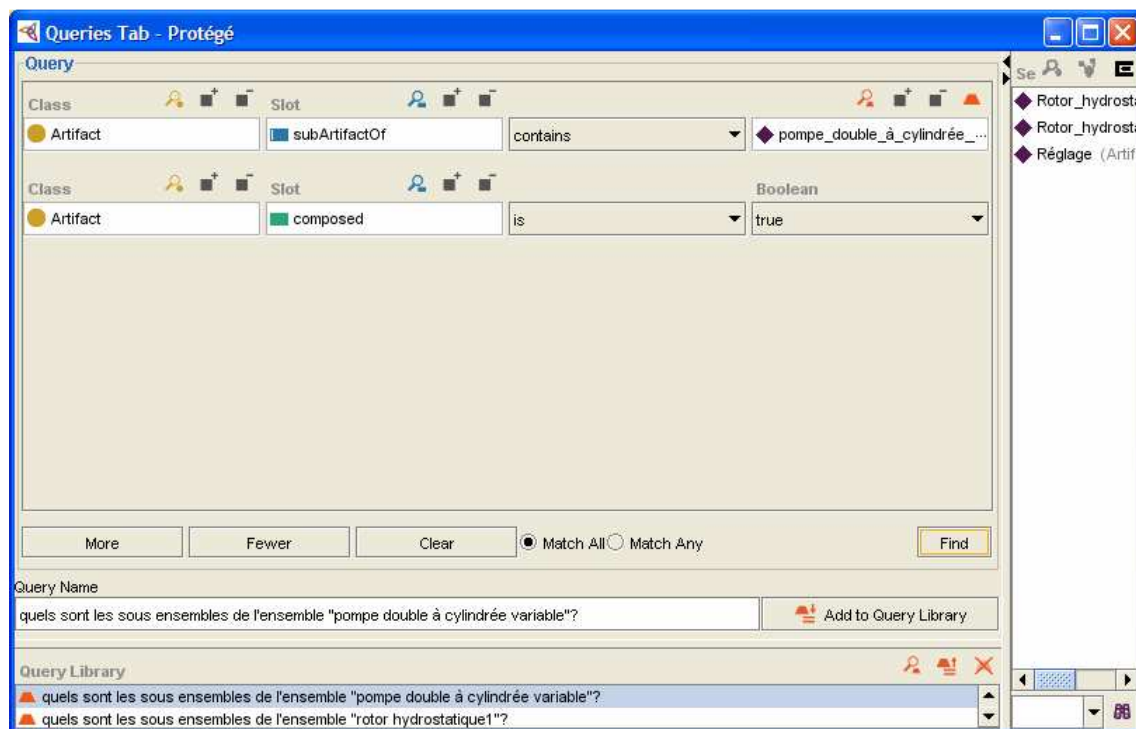


Figure 34 - Exemple de requête sur les instances de l'ontologie

Les requêtes peuvent être plus ou moins complexes. Bien qu'il soit possible de poser ces mêmes requêtes par des mécanismes d'interrogation classiques disponibles dans les SGBD tels que SQL, elles constituent un pas important dans l'exploitation de l'ontologie. Il est intéressant à ce stade de réunir un nombre maximum de requêtes et de les catégoriser dans le but de créer des sous bibliothèques de requêtes spécialisée chacune dans une phase particulière du cycle de vie ou un point de vue métier particulier, par exemple celui de la conception ou celui de la fabrication... Ainsi il serait possible de travailler sur le même modèle de produit : celui qui est utilisé dans l'ontologie et de faire collaborer les différents points de vue autour de ce modèle unique.

5.3.5.2. Exploitation par parcours et exploration de l'ontologie

Très fréquemment, les acteurs des différents points de vue peuvent référencer des concepts ou des propriétés sémantiquement équivalents ou différents sans le savoir explicitement, ce qui crée une barrière qui entrave l'échange correct et l'interopérabilité entre les différentes applications. Lors du parcours de l'ontologies, cette équivalence est rendue explicite de différentes manières : en OWL, les instances peuvent être comparées par l'attribut « same as » et « different from », les classes par l'attribut « disjoint » et les propriétés en utilisant l'attribut « equivalent to ». De cette manière les concepts et leurs sémantiques sont rendus accessibles aux utilisateurs de façon explicite, ce qui contribue grandement à la compréhension mutuelle et à la suppression des barrières linguistiques ou administratives entre partenaires des différentes applications du cycle de vie produit. Grâce à ce mécanisme, on pourrait par exemple établir l'équivalence de plusieurs concepts ou instances ayant des noms différents (selon les contextes d'utilisation ou exprimés dans des langues différentes) mais une sémantique identique. Ainsi dans le cas de l'ontologie de produit, les instances des pièces : flange_1, flange_2 et flange_3 sont équivalentes.

De plus, l'utilisation du langage OWL [OWL 04] permettra une plus large adoption de celle-ci vu qu'il est en passe de devenir un standard web pour les ontologies en particulier dans le cadre du web sémantique.

5.3.5.3. Exploitation par inférence

Ce mécanisme n'a pas été exploité de façon explicite dans notre étude, mais nous montrons à travers un exemple simple qu'il est possible à réaliser. L'exemple est basé sur une requête complexe exécutée par le mécanisme de requête et des déductions faites par l'utilisateur. Ainsi en substituant la machine à l'utilisateur dans cet exemple, l'ontologie pourrait être utilisée pour inférer des connaissances ne se trouvant pas initialement dans l'ontologie mais déduites à partir de son contenu (concepts axiomatisés). Un exemple de requête plus complexe a été testé dans [Mos 05b].

La requête est visualisée sur la Figure 35 et a pour objet de trouver *la géométrie associée aux features de l'artifact Flange_1*. Les concepts et les propriétés de la requête se trouvent à gauche de l'écran et les résultats se trouvent à droite. Cette requête se fait en trois étapes :

- Dans un premier temps, on détermine les features de l'artifact *Flange_1*, le résultat est exprimé dans la première ligne de l'exécution de la requête et indique que le feature *thru_hole* est un feature de l'artifact *Flange_1*
- Par la suite on détermine quelle est la forme associée à ce feature puisque la géométrie n'est pas liée directement au feature mais à la forme, le résultat est exprimé sur la deuxième ligne qui indique que *thru_hole* est associé à la forme *ThruFeature_form*
- Enfin, on recherche quelle géométrie est associée à la forme *Thrufeature_form* et on trouve comme résultat *Thru_hole_geometry* (à la troisième ligne de la réponse à la requête)

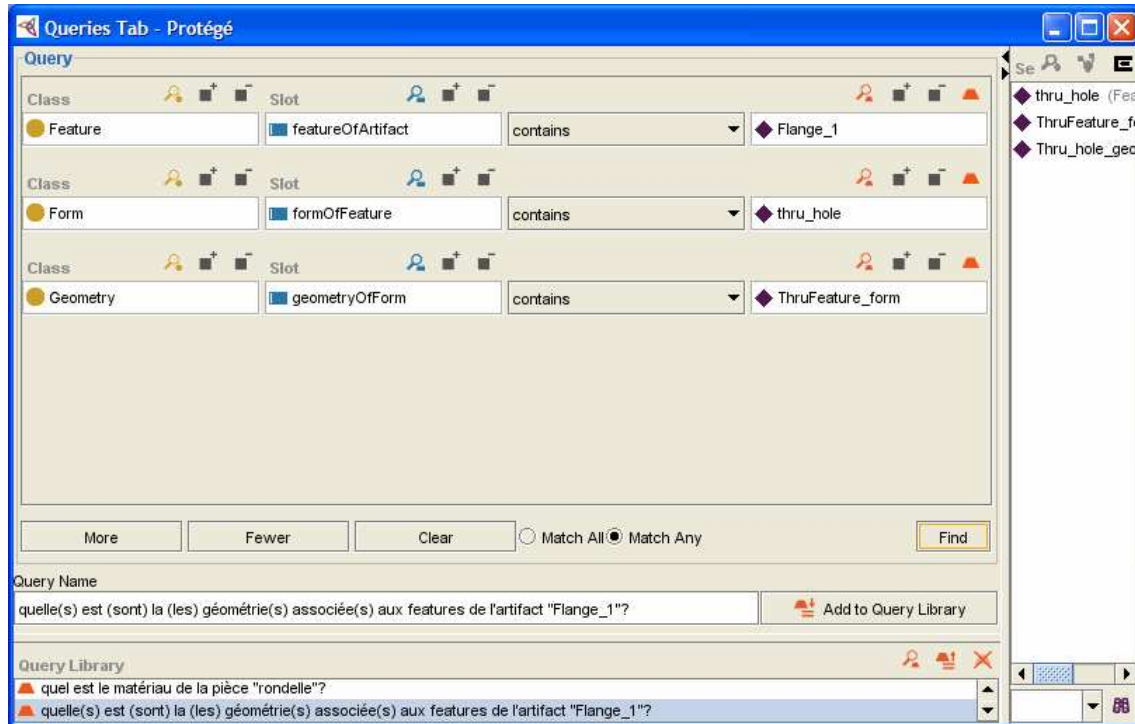


Figure 35 - Exemple de requête complexe

Ainsi, l'utilisateur peut déduire que la géométrie associée au feature de l'artefact *Flange_1* est *Thru_hole_geometry*. Cette information n'était pas disponible directement mais elle a été retrouvée par un ensemble de déductions faites par l'utilisateur. Si on dote l'ontologie d'une sémantique plus formelle, ce type de déduction pourrait être fait par un agent logiciel.

Le langage OWL offre un large spectre d'outils et de caractéristiques qui n'ont pas encore été explorés au moment de la rédaction de cette thèse, en particulier sa version OWL Full qui offre une sémantique plus formelle et des possibilités plus grandes pour le raisonnement automatique. Ces particularités en font un langage de choix pour exprimer l'ontologie de produit et son exploitation dans des processus de raisonnement automatique. Cette alternative est envisagée comme perspective à ce travail.

5.3.6. Evaluation de l'ontologie

Pour évaluer notre ontologie, nous nous sommes penchés sur deux critères importants :

- Le critère de la validité de l'ontologie : afin de savoir si elle a été bien construite et si elle ne comporte pas d'erreurs ou d'anomalies dans sa structure. La validation de l'ontologie en amont de son opérationnalisation est souhaitable. Elle évite de propager des erreurs qui sont difficilement repérables, si les réponses auxquelles elle est sensée répondre se révèlent fausses. La validité des hiérarchies doit donc être testée dès la phase d'ontologisation, aussi bien du point de vue formel que du point de vue sémantique. La validation formelle consiste à vérifier s'il n'y a pas de cycle, c'est-à-dire de définition en boucle, s'il n'y a pas redondance de concepts ou de relations, si chaque hiérarchie est bien connexe, c'est-à-dire s'il n'y a pas de concept ou de relation isolés des autres et donc sans aucun sens [Gom 96]. Des vérifications liées aux choix de modélisation sont également à effectuer, par exemple la détection de l'héritage

multiple. La validation sémantique permet de contrôler que la structure des hiérarchies est correcte vis-à-vis des principes différentiels utilisés. Pour notre part, nous avons pu bénéficier d'un vérificateur de validité intégré dans l'environnement Protégé2000 : le reasoner qui peut faire certaines vérifications de façon automatique. En particulier, celles de la validation formelle. Nous avons soumis notre ontologie au reasoner de protégé2000 qui n'y a détecté aucune faille. Pour ce qui est de la validation sémantique, nous n'avons pas pu la vérifier.

- Le critère de l'utilisation concrète et l'exploitation de l'ontologie : répond-elle aux besoins pour lesquels elle a été conçue ? D'une manière générale, l'évaluation d'une ontologie se fait *a priori* par des tests correspondant à son objectif opérationnel. Cette méthode est en particulier préconisée par M. Gruninger et M.S. Fox qui proposent d'utiliser des questions de compétences permettant de tester l'ontologie. Si cette dernière répond aux attentes, un système qui l'implémente doit donner les réponses prévues aux questions de compétences [Gru 95]. Il est cependant difficile de traduire le but d'une application en quelques questions dont on sera certain qu'elles couvrent l'ensemble du contexte d'usage. Cette question est encore plus délicate dans l'univers hétéroclite du PLM. Par souci d'une utilisation plus efficace de notre ontologie, en particulier dans le milieu industriel pour lequel elle a été conçue, et afin d'en assurer la pérennité, nous souhaiterions l'affiner et mieux l'adapter aux besoins de ses utilisateurs potentiels en travaillant avec des experts industriels. Ceci permettra de mieux cerner leurs besoins spécifiques et le cas échéant d'adapter l'ontologie à ces besoins. Nous envisageons cela comme perspective à ce travail.

5.4. Conclusion

Ce chapitre présente comment l'approche d'intégration par ontologie dans le contexte du PLM est utilisée. Ce problème a été abordé de deux façons différentes.

La première était basée sur l'étude de plusieurs ontologies qui existent et qui sont concrètement exploitées dans des domaines divers. Quelques projets d'ontologies bien connus ont fait l'objet de cette étude afin d'évaluer leur adaptabilité pour une utilisation dans un contexte PLM. Ainsi les aspects positifs et les contributions de ces projets par rapport à plusieurs critères sont regroupés pour conclure quelles sont les ontologies les plus proches du domaine du PLM et comment peut-on les exploiter. Il en découle que certaines d'entre-elles présentent un réel potentiel dans ce contexte, à savoir les ontologies : *SUMO*, *Enterptise* et *TOVE*. Toutefois aucune d'entre elle ne peut représenter la complexité du PLM dans son intégralité. Chacune ne prend en charge qu'un aspect particulier. Par conséquent, concevoir une ontologie représentative du PLM ne peut se faire que de façon holistique et fusionnelle. La plus grande difficulté dans la conception d'une ontologie PLM résulte de la complexité même du PLM en terme de contenu informationnel qui est énorme et très diversifié. Il est pratiquement impossible de décrire le phénomène complexe du PLM par une ontologie unique, mais plutôt par une synergie d'ontologies de domaines. Se pose alors le problème majeur de l'intégration/fusion de plusieurs ontologies qui constitue un axe de recherche à part entière dans la communauté d'ingénierie ontologique. L'utilisation de plusieurs ontologies reste donc un problème ouvert. Nous considérons toutefois que l'étude de ces projets d'ontologies nous permettra de gagner de l'expérience dans la méthode de construction de l'ontologie et l'enrichissement de son contenu. Nous considérons que cette étude est une étape importante dans le processus de développement d'une ontologie orientée PLM car avant

d'entreprendre la conception de l'ontologie, nous avons besoins de comprendre et d'apprendre à partir des alternatives qui existent déjà et qui ont fait leurs preuves.

La seconde alternative que nous avons présentée est basée sur la construction d'une ontologie de produit la plus générique possible qui représentera un noyau d'ontologie qui peut être enrichi et contextualisé par les domaines du PLM. L'utilisation de cette ontologie a pour point de départ et pré requis indispensable l'existence d'une sémantique commune partagée par plusieurs points de vues dans le cycle de vie produit. La proposition d'une ontologie de produit partagée par les différentes vues est de permettre l'interprétation et la compréhension commune entre les ingénieurs et les techniciens de CAO/CFAO... par exemple, chacun avec son expérience propre et sa vision propre du produit. Si toutes ces personnes acceptent de partager une même ontologie du produit, ils contribueraient alors à la proposition d'un modèle de produit unifié pour tous, ce qui en faciliterait la compréhension mutuelle et le partage. Le succès et l'adoption à grande échelle de l'ontologie proposée sont tributaires de ce consensus qui demeure un préalable nécessaire. Pour promouvoir une acceptation plus large d'un modèle de produit unifié, les chercheurs s'orientent vers des solutions de normalisation. Des perspectives intéressantes sont étudiées par le NIST [**Sud 03**], [**Sud 04**], [**Sub 05**]. L'adoption du modèle de produit de base CPM proposé par le NIST [**Fen 04**] pour la construction de notre ontologie nous a permis de bénéficier de nombreux avantages : modèle de produit ouvert, non propriétaire, générique et capable de réunir le contexte d'ingénierie complet qui est communément utilisé et partagé dans les environnements de développement de produit.

Nous terminons par une évaluation de notre ontologie selon deux dimensions différentes : celle de la validité sémantique et formelle et celle de la validité de contenu. Cette évaluation nous a permis de déduire des perspectives importantes qui seront évoquées dans la conclusion générale.

Conclusion générale

Au terme de ce travail motivé par le besoin d'intégration des applications d'ingénierie dans un cadre de gestion du cycle de vie produit, nous récapitulons, dans un premier temps, notre contribution puis nous présentons quelques perspectives.

1. Contributions

Dans ce travail, nous nous sommes intéressés au problème important de l'intégration des applications d'ingénierie dans cadre de gestion cycle de vie, au sein de l'entreprise étendue. Dans un premier temps, nous avons étudié la modélisation des produits industriels dans les applications de CAO et de CFAO. Dans une perspective de généralisation aux technologies XAO, nous nous sommes rendus compte que les activités industrielles impliquées dans le développement de produit sont intimement liées et interdépendante, qu'elles utilisaient chacune des informations spécifiques et/ou communes sur le produit manufacturé et qu'il y-a un besoin réel d'intégration entre les applications. Ce constat nous a incité à orienter notre contribution de la modélisation du produit au problème d'intégration des applications qui l'utilisent. De plus, cette intégration devrait couvrir les activités centrées sur le produit durant tout son cycle de vie pour une meilleure maîtrise de la gestion de ce dernier et une plus grande traçabilité des données associées à tous les stades de son développement et de son utilisation. Ceci est rendu possible grâce à l'approche PLM qui, grâce à ses propriétés intrinsèques, nous permet d'envisager une intégration qui couvre tout le cycle de vie du produit ainsi qu'une disponibilité pour les différentes applications des informations les plus à jour pour les utilisateurs appropriés, au bon endroit et au moment opportun.

Analyse de quelques méthodes d'intégration dans une optique PLM

Les différentes activités industrielles à fort caractère technologique génèrent et manipulent de grandes quantités de données techniques aux formats hétéroclites qui nécessitent d'être échangées, gérées et stockées de manière cohérente et standardisée. L'intégration de ces différentes activités nécessite une démarche méthodologique originale qui intègre ces différents aspects. Une étude approfondie des données utilisées et échangées entre ces applications nous a conduit à identifier trois niveaux d'intégration possibles : le niveau description standardisée des données, le niveau description des données métier techniques et le niveau description des données métier génériques. Ces niveaux correspondent respectivement à trois méthodes d'intégration possibles, à savoir :

- **Une intégration par les standards** : qui s'appuie principalement sur l'utilisation de formats d'échange standards tels que, PLM XML, STEP, PLCS... et différents types de standards.
- **Une intégration par les données métier techniques** : dans cette approche, on propose une description commune du produit, purement géométrique à laquelle on rajoute, dépendant de l'activité considérée du cycle de vie, sa sémantique spécifique. En considérant certaines parties de la géométrie appelées caractéristiques de forme ou features, il est possible d'associer une sémantique spécifique à chaque point de vue. Grâce au mécanisme des features, il devient possible d'intégrer plusieurs points de vue.

- **Une intégration des connaissances métier génériques** (ontologies, méta données) : dans ce dernier niveau la description du produit est plus complète en ce sens qu'elle englobe tous les aspects, par conséquent elle est potentiellement porteuses d'une sémantique plus riche sur le produit. Cette approche est vue comme une généralisation des approches précédentes à un niveau d'abstraction plus élevé : celui de la sémantique. En effet, en tenant compte de la sémantique commune aux informations des différents points de vue métier, il est possible de dériver une ontologie commune décrivant le produit selon plusieurs points de vue. Les connaissances du produit impliquées dans les différentes phases de son développement et son cycle de vie vont nous permettre de développer une ontologie du produit la plus complète possible, dotant ainsi les différentes vues du produit et les acteurs associés d'un vocabulaire commun et unifié pour la manipulation des données produit. L'ontologie sera ensuite exploitée à des fins d'intégration par les différentes activités du cycle de vie.

Proposition d'une approche d'intégration basée sur les ontologies

Pour synthétiser, les résultats de nos travaux sont concentrés dans la définition d'une ontologie de produit la plus complète possible pour englober les informations du produit durant tout son cycle de vie. Nous avons opté pour une ontologie la plus générique possible, qui est ensuite exploitée à des fins d'intégration, dans une perspective PLM. Pour ce faire, nous montrons à l'aide de quelques exemples de produits comment ils peuvent être utilisés dans des scénarios typiques d'intégration. Nous soulignons également dans cette partie l'utilisation d'exemples de produits du secteur industriel, ce qui nous permet d'affirmer que l'ontologie proposée est bien adaptée à leur description.

Le principal apport de ce travail découle de l'exploitation adéquate de l'ontologie proposée. Les exemples présentés nous permettent d'affirmer qu'une telle étude est concluante dans la mesure où elle était applicable à des scénarios pratiques d'intégration pour améliorer le travail collaboratif par exemple. Il va de soi qu'une application réelle une fois l'ontologie intégralement développée devra être réalisée pour valider les résultats qui ont découlé de cette étude.

2. Perspectives

Sur le moyen et long terme, notre travail débouche sur plusieurs perspectives de recherche particulièrement intéressantes à explorer :

1. Confrontation de l'ontologie avec des experts de différents domaines (CAO, XAO...), car l'entreprise étendue et le PLM sont par essence des environnements multi experts
2. Nous souhaitons, à court et moyen terme, généraliser l'utilisation et l'exploitation de notre ontologie à d'autres exemples et catégories de produits industriels, ce qui aura pour conséquence de mieux valider les résultats qui ont découlé de cette étude et de compléter et d'enrichir l'ontologie elle même.
3. Par souci d'une utilisation plus efficace de notre ontologie, en particulier en milieu industriel, il serait particulièrement important de l'affiner et de l'adapter aux besoins de ses utilisateurs potentiels en travaillant avec des industriels, afin d'en assurer la pérennité et l'efficacité.
4. Il nous semble important de réfléchir aux problèmes de la traçabilité et l'homogénéisation des données au sein des entreprises industrielles nationales.

L'entreprise algérienne subit elle aussi les effets de la mondialisation, il serait alors intéressant qu'elle puisse disposer d'outils efficaces qui l'aideraient à franchir ce cap et rattraper ainsi son retard en terme de gestion plus efficace de ses données. Cette solution pourrait s'adapter aux PME /PMI. Mais cette proposition est tributaire d'une informatisation profonde de tous les services de l'entreprise en question. En effet, une des plus grande difficultés rencontrées dans le cadre de cette étude était l'obsolescence, voire l'absence des systèmes d'information au seins des entreprises étudiées.

5. Réfléchir à exploiter notre ontologie par des processus de raisonnement automatique. Ce travail pourrait aider considérablement les acteurs des différentes applications métier sur certaines tâches. Toutefois, cela demande une étroite collaboration avec les experts de ces domaines. L'utilisation du langage OWL dans notre ontologie lui confère un statut privilégié du fait que ce langage est en passe de devenir un standard. Le langage OWL offre un large spectre d'outils et de caractéristiques qui n'ont pas encore été explorés au moment de la rédaction de cette thèse, en particulier sa version OWL Full qui offre une sémantique plus formelle et des possibilités plus grandes pour le raisonnement automatique.

Bibliographie

1. Références bibliographiques

- [Ack 04] P. Ackerman et D. Eichelberg, « *Product Knowledge Management* ». In Proceedings of the International Conference on Economic, Technical and Organizational Aspects on Product Configuration System, Technical University of Denmark, Copenhagen, 2004.
- [AIS 00] R.H.Allen et R.D.Sriram, « *The Role of Standards in Innovation* ». Technological Forecasting and Social Change, vol. 64, pages 171-181, 2000.
- [And 98] B. Andersen, A. Rolstadås et T. Fagerhaug, « Practical Productivity Measurement ». In proceedings of the 10th Working Seminar on Production Economics, Innsbruck/Igls, Austria, 1998.
- [Bac 99] B.Bachimont, « *L'intelligence artificielle comme écriture dynamique : de la raison graphique à la raison computationnelle* ». Grasset, Paris, 1999.
- [Ben 98] A.Benamara, « *Contribution à l'intégration de la composante calcul dans une démarche de conception fonctionnelle intégrée, application aux mécanismes* ». Thèse de Doctorat, Université de Valenciennes, 1998.
- [Ber 00] A.Bernard, « *Modèles et approches pour la conception et la production intégrées* ». Revue APII-JESA, vol.34, pages 163-193, 2000.
- [Blo 91] M.S.Bloor et J.Owen, « *CAD/CAM product-data exchange: the next step* ». Computer-Aided Design, vol.23, no. 4, pages 237-243, 1991.
- [Boc 04] C.Bock, « *Systems Engineering in the Product Lifecycle* ». International Journal of Product Development, Special Issue on Product Lifecycle Management, 2004.
- [Boo 00] G.Booch, J.Rumbaugh et I.Jacobson, « *Le guide de l'utilisateur UML* ». édition Eyrolles, ISBN 2-212-09103-6, 2000.
- [Bou 00] A.Bouras, « *Approches de conversion et de description morphologique de modèles de produits* ». Mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches, Université Claude Bernard de Lyon, 2000.
- [Bra 75] I.C Braid, « *The synthesis of solids bounded by many faces* ». Computer aided Geometric Design (CAGD), vol. 18, no. 4, pages 209-216, 1975.
- [Bra 85] R.Brachman et J.Schmolze, « *An overview of the KL-One knowledge*

representation system ». In Cognitive Science vol. 9, no.2, pages 171-216, 1985.

- [Bro 01] Bronsvoort W.F., et al, « *Essential Developments in Feature Modelling* ». In Proceedings of CAD/Graphics'2001, seventh International Conference on Computer aided Design and Computer Graphics, Kunming, China, 22-24, pages 6- 15, August 2001.
- [Bro 90] C.W.Brown, « *IPPEX: an automated planning system for dimensional inspection* ». In Proceedings of the 22nd CIRP International Seminar on Manufacturing System, University of Twente, Enschede Netherlands, 1990.
- [Bro 03] J.Brown, « *SLM - Service Lifecycle Management* ». www.technologyevaluation.com, 2003.
- [Bru 05] G. Brunetti et S. Grimm, « *Feature ontologies for the explicit representation of shape semantic* ». International Journal of Computer Applications in Technology, vol. 23, no.2, pages 192-202, 2005.
- [Bur 01] W.C.Burkett, « *Product data markup language : a new paradigm for product data exchange and integration* ». Computer Aided Design (CAD) 33, pages 489-500, 2001.
- [Cha 03] S.Charles, B.Eynard, G.Ducellier, L.LI et X.Rakotomamonjy, « *Standardisation des échanges de modèles géométriques 3D paramétrés non figés* », Revue internationale de CFAO et d'informatique graphique, vol.18, no.4, pages 389-407, 2003.
- [Cha 05] S.Charles, « *Gestion Intégrée des données CAO et EF - Contribution à la liaison entre conception mécanique et calcul de structures* ». Thèse de doctorat, Université de Technologie de Troyes, 13 décembre 2005.
- [Cha 93] K.Chan et P.GuU, « *A STEP based generic model for concurrent engineering* ». Concurrent Engineering - Methodology and Applications, pages 249-275, 1993.
- [Cha 98b] V.Chaudhri, A.Farquhar, R.Fikes, P.Karp & J.Rice, « *OKBC : a programmatic foundation for knowledge base interoperability* ». In Proceedings of the 15th National Conference on Artificial Intelligence (AAAI'98), MIT Press, 1998.
- [Che 92] M.Chein et M.Mugnier, « *Conceptuals graphs : fundamental notions* ». Revue d'Intelligence Artificielle (RIA), vol. 6, no.4, pages 365-406, 1992.
- [Che 04] L.Chen, T.Wang et Z.Song, « *A Web-based Product Structure Manager to Support Collaborative Assembly Modeling* ». Journal of Computing and Information Science in Engineering, vol.4, no.1, pages 67-78, 2004.
- [Chi 02] K.S.Chin, Y.Zhao et C.K.Mok, « *STEP-Based Multiview Integrated Product Modelling for Concurrent Engineering* ». Advanced Manufacturing

Technology, vol. 20, pages 896-906, 2002.

- [Cho 84] B.K.Choi, M.M.Barash et D.C.Anderson, « *Automatic recognition of machined surfaces from a 3D solid model* ». Computer Aided Design (CAD), vol. 16, no. 2, pages 81-86, 1984.
- [Cun 88] J.J.Cunningham et J.R.Dixon, « *Designing with features: the origin of features* ». In proceedings of ASME Computers in Engineering, pages 237-243, San Francisco, USA, 1988.
- [Cut 93] T.G.Cutkosky, M. R.Tenenbaun et J.Glicksman, « *SHARE: a methodology and environment for collaborative product development* ». In proceedings of the IEEE Infrastructure for Collaborative Enterprise, Morgantown, 1993.
- [Dem 98] C.Demartini, S.Rivoira et A.Valenzano, « *Product Data Exchange using STEP* ». In proceedings of the Dixième conférence internationale IFIP WG 5.2/5.3, Trento Italie, pages 9-12 septembre 1998.
- [Den 02a] D.DENEUX, « *Méthodes et modèles pour la conception concourante* ». Mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches, Université de Valenciennes, janvier 2002.
- [Den 05] P.Denno et T.Thurman, « *Requirements on Information Technology for Product Lifecycle Management* ». International Journal of Product Development - Special Issue on PLM, vol. 5, no. 1, 2005.
- [Die 01] R.Dieng, O.Corby, F.Gandon, A.Giboin, J.Golebiowska, N.Matta et M.RIBIÈRE, « *Méthodes et outils pour la gestion des connaissances : une approche pluridisciplinaire du knowledge management (2ième édition)* ». Dunod Edition Informatiques Séries Systèmes d'Information, 2001.
- [EHM 04] M.El HadjMimoune, « *Contribution à la modélisation explicite et à la représentation des données de composants industriels : application au modèle PLIB* ». Thèse de doctorat de l'Université de Poitiers, juillet 2004.
- [Esw 06] S. Eswaran, R. Sudarsan, A. Bouras, S. Fenves, S. Foufou, et R. D. Sriram., « *The role of standards in product lifecycle management support* », Technical Report NISTIR 7289, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD 20899, USA, 2006.
- [Eyn 99] B.Eynard, « *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, 30 juin 1999.
- [Eyn 05] B.Eynard, S.Lienard, S.Charles et A.Odinot, « *Web based Collaborative Engineering Support System: Applications in Mechanical Design and Structural Analysis* ». Concurrent Engineering: Research & Applications, vol.13, n°2, 2005.
- [Duf 88] M.R.Duffey, J.R.Dixon , « *Automating extrusion design : a case study in*

geometrique and topological reasoning for mechanical design ». Computer Aided Design (CAD), vol. 20, no. 10, 1988.

- [Far 00] A.Farquhar, R.Fikes et J.RICE, « *Ontolingua server : a tool for collaborative ontology construction* ». In International journal of Human-Computer studies (46), pages 707-727, 2000.
- [FCG 91] R. Fikes, M. Cutkosky, T. Gruber, et J. Van Baalen, « *Knowledge sharing technology: project overview* ». Technical Report KSL 91-71, Stanford University, Knowledge Systems Laboratory, 1991.
- [Fen 01] S.J.Fenves, « *A core product model for representing design information* » National Institute of Standards and Technology Internal Report NISTIR no. 6736, NIST, Gaithersburg, MD, 2001.
- [Fen 04] S.J.Fenves et al, « *CPM 2: A Revised Core Product Model for representing design information* ». National Institute of Standards and Technology Internal Report NISTIR no. 7185, Gaithersburg, MD, octobre 2004.
- [Fer 97] M.Fernandez, A.Gomez-Perez et N.Juristo, « *METHONTOLOGY : from ontological art towards ontological engineering* ». In Proceedings of the Spring Symposium Series on Ontological Engineering (AAAI'97), AAAI Press , 1997.
- [Fer 98] F.Feru et C.Viel, « *Echanger avec le protocole d'application 203 de STEP* ». Association GOSET, ISBN 2-9513382-0-1, pages 1-16 et 146-166, 1998.
- [FNM 01] N. Fridman Noy et D. McGuinness, « *Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology* ». 2001. Available online at: <http://www.ksl.stanford.edu/people/dlm/papers/ontology101/ontology101-noy-mcguinness.html>
- [Fou 98] C. Foulard, « *L'Entreprise Communicante* ». Editions Hermès, pages 255-265, 1998.
- [Fuh 05] J. Y. H. Fuh et W. D. Li, « *Advances in collaborative CAD: the-state-of-the-art* » Computer-Aided Design 37(5): 571-581, (2005).
- [Fow 95] J.Fowler, « *STEP for data management Exchange and Sharing* ». Technology appraisals, 1995.
- [Fur 02] F.Fürst, « *L'ingénierie ontologique* ». Rapport de recherche no. 02-07, Institut de Recherche en Informatique de Nantes, octobre 2002.
- [Gad 93] R.Gadh, « *A hybrid approach to intelligent geometric design using features-based design and feature recognition* ». In Proceedings of the 19th Design Automation Conference, New Mexico, USA, 1993.
- [Gar 90] Y.Gardan et C.Minich, « *La modelisation geometrique et l'extraction de*

- caracteristiques de formes* ». In Proceedings of Seminaire GAMA, Cachan, France, 1990.
- [GeF 92] M.R.Genesereth et R.E.Fikes « *Knowledge Interchange Format, Version 3.0 reference manual* ». Technical Report Logic-92-1. Computer Science Department, Stanford University, 1992.
- [Gen 98] D.Genest et E.Salvat, « *A platform allowing typed nested graphs : how CoGITO became CoGITaNT* ». In Proceedings of the International Conference on Conceptual Structures (ICCS'98), Springer-Verlag LNAI 1453, pages 154-161, 1998.
- [GeS 04] P.Grenon et B.Smith, « *SNAP and SPAN: Towards dynamic spatial ontology* ». Spatial Cognition and Computation, vol. 4, no 1, pages 69-103, 2004.
- [Goh 96] A.Goh, S.C.Hui et B.Song, « *An integrated environnement for product developpement using STEP/EXPRESS* ». Computers In Industry, 31, pages 305-313, 1996.
- [Gom 96] A.Gomez-Perez, M.Fernandez et A.J.De Vicente, « *Towards a Method to Conceptualize Domain Ontologies* ». In Proceedings of the European Conference on Artificial Intelligence, ECAI'96, pages 41-52, 1996.
- [Gom 99] A.Gomez Perez, « *Ontological Engineering: a State of the Art* ». WWW page. <http://www.csc.liv.ac.uk/~frans/ExpertUpdate/ontologies.ps>. 1999
- [Gray 76] A.R.Grayer, « *A computer link between design and manufacture* ». PHD thesis, University of Cambridge, UK, 1976.
- [Gru 91] T.R. Gruber, « *The Role of common ontology in achieving sharable, reusable knowledge bases* ». In Proceedings of the Second International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning, pages. 601-602, Cambridge, MA, 1991.
- [Gru 93a] T.R.Gruber, « *A translation approach to portable ontologies* ». Knowledge Acquisition, vol. 5, no. 2, pages 199-220, 1993.
- [Gru 93b] T.R.Gruber, « *Towards Principles for the Design of Ontologies Used for Knowledge Sharing* ». Formal Ontology in Conceptual Analysis and Knowledge Representation, Kluwer Academic Publishers, 1993. Available as Stanford Knowledge Systems Laboratory Report KSL-93-04, 1993.
- [Gru 95] M.Gruninger et M.S.FOX, « *Methodology for the design and evaluation of ontologies* ». in Proceedings of the Workshop on Basic Ontological Issues on Knowledge Sharing, IJCAI'95, 1995.
- [GTW 92] T.R. Gruber, J.M. Tenenbaum, et J.C. Weber, « *Toward a knowledge medium for collaborative product development* ». In Proceedings of the Second International Conference on Artificial Intelligence in Design, pages.

413-432, Pittsburgh, 1992.

- [Gua 94] N.Guarino, M.Carrara et P.Giaretta, « *Formalizing ontological commitments* ». In Proceedings of the AAAI conférence (AAAI'94), 1994.
- [Gua 98] N.Guarino, « *Formal Ontology and Information Systems* », Formal Ontology in Information Systems. IOS Press, 1998.
- [Han 95] J.Han et A. A. G.Requicha, « *Integration of Feature Based Design And Feature Recognition* ». In proceedings of ASME Computers In Engineering Conference, pages 569-578, 1995.
- [Han 96] J.Han, « *3D Geometric Reasoning Algorithms for Features Recognition* ». PHD Thesis, University of Southern California, USA, 1996.
- [Har 97] Y.Harani, « *Une approche multi-modèles pour la capitalisation des connaissances dans le domaine de la conception* ». Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble, 19 novembre, 1997
- [Har 00] M.Hardwick, K.C.Morris, D.L.Spooner, T.Rando et P.Denno, « *Lessons learnt developing protocols for the industrial virtual enterprise* ». Computer-Aided Design, vol.32, no.2, pages 159-166, 2000.
- [Her 05] N.Hernandez, « *Ontologies de domaine pour la modélisation du contexte en recherche d'information* ». Thèse de doctorat, Université de Toulouse, 2005.
- [Her 90] P.J. Herbert et D.Al, « *Feature recognition within a truth maintained process planning system* ». Computer Integrated Manufacturing (CIM), vol. 3, no. 2, pages 121-132, 1990.
- [HFN 97] C.D. Hafner et N.Friedman Noy, « *The state of the art in ontology design: a survey and comparative review* ». AI Magazine, vol. 18, no.3, pages 52-74, AAAI Press, 1997.
- [IJP 05] IJPLM: International Journal of PLM, InderScience Publishers, first volume July 2005.
- [IyG 05] R.G.Iyer et T.Gulledge, « *Product Lifecycle Management for the US Army Weapon Systems Acquisition* ». InderScience Publishers, PLM: Emerging solutions and challenges for Global Networked Enterprise, ISBN 0-907776-18-3, pages 553-564, 2005.
- [Jac 98] L.Jacquet, « *Contribution à l'élaboration d'une démarche de spécification fonctionnelle* », Thèse de Doctorat, Université de Valenciennes, 1998.
- [Jag 93] P.Jagou, « *Concurrent Engineering – la maîtrise des coûts, des délais et de la qualité* », Hermès, 1993.
- [Kab 00] M.Kabbaj, « *From Prolog++ to Prolog+CG : a CG objet-oriented logic*

programming language ». In Proceedings of the International Conference on Conceptual Structures (ICCS'00), Springer LNAI 1867, pages 540-554, 2000.

- [Kay 97] D.Kayser, « *La représentation des connaissances* ». Hermès, 1997.
- [Kem 99] S. Kemmerer, « *STEP: The Grand Experience* ». (Editor of) NIST Special Publication 939, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, 1999.
- [Kif 95] M.Kifer, G.Lausen et J.Wu, « *Logical foundations of object-oriented and frame-based languages* ». In Journal of the ACM, 1995.
- [Koc 92] R.Koch, « *A Framework for Integrated Features Modelling using Non-Manifold Geometry* ». In Proceedings of the Third International Conference on data and Knowledge systems for manufacturing and Engineering, pages 305-323, Lyon, France, 1992.
- [KPB 05] M.P.Kesavadas, A.Peygude et K.Bandi, « *Development of Formal Ontology for Product Design Lifecycle* ». In Proceedings of PLM'05 Conference, pages 3-10, Lyon, France, 2005.
- [Kre 05] K.Krechmer, « *The meaning of Open Standards* ». Hawaii International Conference on System Sciences, January 2005, 2005.
- [Kru 89] J.P.Kruth et P.Kesteloot, « *New CAD/CAM developments for an improved competitiveness of European MouldMarkers* ». Conception et Fabrication Assistées par Ordinateur (CFAO), vol. 4, no. 1, 1989.
- [Laa 93] T.Laakko et M.Mantyla, « *Feature modelling by incremental feature recognition* ». Computer Aided Design (CAD), vol. 25, no 8, pages 479-492, 1993.
- [Lee 87] Y.C.Lee et K.S.Fu, « *Machine Understanding of {CSG}: Extraction and Unification of Manufacturing Features* ». Computer graphics and Applications (CGA), vol. 7, no 1, pages 20-32, 1987.
- [LeG 90] D.Lena, et R.V.Guha, « *Building Large Knowledge Based Systems* ». Representation and Inference in the CYC Project. Addison-Wesley, 1990.
- [Lib 86] E.C.Libardi, J. R.Dixon et M.K.Simmons, « *Designing with Features: Design and Analysis of Extrusions as an Example* ». In Proceedings of ASME Spring National Design Engineering Conference, Chicago, USA, 1986.
- [Lub 92] S.Luby et J.R Dixon, « *Creating And using a Features Data Base* ». Computers in Mechanical Engineering, pages 25-33, novembre,1992.
- [Mac 91] R.Macgregor, « *Inside the LOOM classifier* ». In SIGART bulletin, vol. 2, no.3, pages 70-76, 1991.

- [Mac 94] A.Mackay, M.Bloor et J.Owen, « *Application Protocols: A position paper* ». Revue Internationale de CFAO et d'Informatique Graphique, vol.9, no.3, pages.377-389, 1994.
- [Mae 02] A.Maedche, B.Motik, N.Silva et R.Volz, « *MAFRA : a mapping framework for distribued ontologies* ». In Proceedings of the International Conference EKAW'2002, Springer LNAI 2473, pages 235-250, 2002.
- [Man 82] M. Mantyla et Reijo Sulonen, « *GWB : A Solid Modeler with Euler Operators* ». Computer Graphics and Applications (CGA), vol. 0, no 1, pages 17-31, 1982.
- [Man 98] T.Mannisto, H.Peltonen, A.Martio et R.Sulonen, « *Modelling generic product structures in STEP* ». Computer-Aided Design (CAD), vol. 30, no 14, pages 1111–1118, 1998.
- [Mau 93] M.Maurino, « *La gestion des données techniques – Technologie du concurrent engineering* ». Edition Masson, 1993.
- [Mos 05a] S.Mostefai, et M.Batouche, « *Data integration in Product Lifecycle Management: An ontology-based approach* ». In proceedings of the fifth International Conference on Product Lifecycle Management PLM'05, Lyon, France, juillet 2005. Disponible aussi dans: *Product Lifecycle Management: Emerging solutions and challenges for Global Networked Enterprise*, Inderscience Enterprises publisher, ISBN 0-907776-18-3, pages 292-301, 2005.
- [Mos 05b] S.Mostefai, A.Bouras et M.Batouche, « *Effective Collaboration in Product Development via a Common Sharable Ontology* ». International Journal of Computational Intelligence (IJCI), vol. 2, no. 4, pages 206-212, 2005.
- [Mos 06] S. Mostefai, A. Bouras et M. Batouche, « *What Ontologies for PLM: a critical analysis* ». In Proceedings of the International Conference on Concurrent Enterprising ICE2006, pages 423-430, Milan, Italie, juin 2006.
- [NiW 02] P.H.Nielsen et H.Wenzel, « *Integration of environmental aspects in product development: a stepwise procedure based on quantitative life cycle assessment* ». Journal of Cleaner Production, vol. 10, pages 247–257, 2002.
- [Ngu 06] T. Nguyen Van, « *Ingénierie système appliquée à la gestion des données techniques en entreprise étendue : Application aux boucles de conception / simulation* ». Thèse de doctorat, École Centrale des Arts et Manufactures de Paris, décembre 2006.
- [NoT 95] I.Nonaka et H.Takeuchi, « *The Knowledge-Creating Company : How Japanese Companies Create the Dynamics of Innovation* ». Oxford Univ Press, 1995.
- [Noy 99a] N.Noy & M.A.Musen, « *An algorithm for merging and aligning ontologies:*

- automation and tool support* ». In Proceedings of the Workshop on Ontology Management at AAAI'1999, 1999.
- [Noy 99b] N.Noy & M.A.Musen, « *SMART : automated support for ontology merging and alignment* ». In Proceedings of the Workshop on Knowledge Acquisition, Modeling and Management at KAW'1999, 1999.
- [Noy 02] N.Noy et M.A.Musen, « *Evaluating ontology-mapping tools : requirements and experience* ». In Proceedings of the Workshop on Evaluation of Ontology Tools (EON'2002) at EKAW'2002, 2002.
- [NRT 04] F. Noel, L.Roucoules et D.Teissandier, « *Specification of product modelling concepts dedicated to information sharing in a collaborative design context* ». In proceedings of the 5th International Conference on Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering, IDMME 2004, University of Bath, Bath, United Kingdom, April 5- 7, 2004.
- [OnS 98] S.Onkvisit et J.J.Shaw, « *Product Life Cycles and Product Management* ». Quorum Books, Greenwood Press, Westport, Connecticut, 1998.
- [Pan 04] H.Panetto, M.Scannapieco et M.Zelm, « *INTEROP NoE: Interoperability Research for Networked Enterprises Applications and Software* ». In proceedings of the On the Move to Meaningful Internet Systems 2004 International Workshops, Agia Napa, Cyprus, Springer- Verlag Heidelberg, 2004.
- [Pea 04] S.R.Peak, J.Lubell, V.Srinivasan et S.C.Waterbury, « *STEP, XML, and UML: Complementary Technologies* ». Journal of Computing and Information Science in Engineering, vol. 4, no. 4, pages 379–390, 2004.
- [Per 94] D.B.Perng et C.T.Cheng, « *Feature-based Process Plan Generation From 3D DSG Inputs* », Computers in Engineering, vol. 26, no 3, pages 423-435, 1994.
- [PDS 05] L.Patil, D.Dutta et R.Sriram, « *Ontology Based Exchange of Product Data Semantics* ». IEEE Transactions on Automation Science and engineering, vol 2, no 3, pages 213-225, 2005.
- [Pie 00] G. Pierra, « *Représentation et échange de données techniques* ». Mec. Ind., vol. 1, Elsevier SAS, pages 397-414, 2000.
- [Por 85] Porter, M. (1985) *Competitive Advantage*, Free Press, New York, 1985.
- [Pra 05] M.J.Pratt, B.D.Anderson et T.Ranger, « *Towards the standardized exchange of parameterized feature-based CAD models* ». Computer Aided Design, vol.37, no. 12, pages 1251-1265, 2005.
- [Ran 95] J.M.Randoing, « *Les SGDT* ». Hermès, Paris, 1995.
- [Reg 93] W.C.Regli et D.S.Nau, « *Building a General Approach to Feature*

Recognition of Material Removal Shape Element Volumes (MRSEVs) ». Second Symposium on Solid Modeling and Applications, ACM, Montreal, Canada, 1993.

- [Reg 95] W.C.Regli, « *Geometric Algorithms for Recognition of Features from Solid models* ». PHD Thesis, University of Maryland, USA, 1995.
- [ReT 78] A.A. G. Requicha et R.B. Tilove, « *Mathematical Foundation of Constructive Solid Geometry: General Topology of closed sets* ». Tech. Memo 27a, Production Automation Projet. University of Rochester, 1978.
- [ReV 77] A.A. G. Requicha et H.B. Voelcker, « *Constructive Solid Geometry* ». Tech. Memo 25, Production Automation Projet. University of Rochester, 1977.
- [Ros 99] M. A. Rosenman et J. S. Gero, « *Purpose and function in a collaborative CAD environment* ». Reliability Engineering & System Safety 64(2): 167-179, 1999.
- [RoT 00] L.Roucoules et S.Tichkiewitch, « *CoDE: a Co-operative Design Environment. A new generation of CAD systems* ». Concurrent Engineering: Research & Applications, vol.8, n°4, 2000.
- [Rou 99] L.Roucoules, « *Méthodes et connaissances. Contribution au développement d'un environnement de conception intégrée* ». Thèse de Doctorat de l'Institut National Polytechnique de Grenoble, 1999.
- [SBH 88] J.J.Shah, A.Bhatnagar et D.Hsiao, « *Feature Mapping and Application Shell* ». In proceedings of 1988 Computers in Engineering Conf, 1988.
- [ScG 99] C.Schlenoff, M.Gruninger et al, « *The Essence of Process Specification Language* ». Transactions of the Society for Computer Simulation International, vol. 16, no 4, pages 204-216, 1999.
- [Sch 94] H.Schulz, « *FINDES: Integrating Desing and Manufacturing* ». In proceedings of IFIP'94, pages 43-57, Valenciennes, mai 1994.
- [ScI 94] H.Schulz, et K.Schutzer, « *Design by features. Features based design of prismatic parts* ». In Proceedings of the Workshop on flexibilite through integrated design: Process planning and Schudiling, ESPRIT Project#2590-IPDES, Senlis, 1992.
- [ScW 94] D.Schenck et P.Wilson, « *Information Modelling: The EXPRESS Way* ». Oxford University Press, 1994.
- [Sha 88a] J.J.Shah et M.T.Rogers, « *Expert form features modelling shell* ». Computer Aided Design (CAD), vol. 20, no 9, pages 515-524, 1988.
- [Sha 88b] J.J.Shah, « *Feature transformations between application-specific feature spaces* ». Computer Aided Engineerring (CAE), vol. 5, no 6, pages 247-255, 1988.

- [ShB 88] J.J.Shah et A.Bhatnagar, « *Automatic Group Technology Classification from Feature Models* ». In proceedings of Proc. 16th SME National Conf. on Advanced Manufacturing & Robotics, pages 24-27, Urbana, IL, mai 1988.
- [SHL 93] J.J.Shah, D.Hsiao et J.Leonard, « *A Systematic Approach for Design-Manufacturing Feature Mapping* ». In proceedings of IFIP WG5.2 Workshop on Geometric Modeling in CAD, Rensselaerville, NY, 1993.
- [Sow 84] J.Sowa, « *Conceptual structures : information processing in mind and machine* ». Addison-Wesley, 1984.
- [Sri 04] V.Srinivasan, Open Up PLM Systems. Design News. 2004.
- [Sri 05] V. Srinivasan, « *Open Standards for Product Lifecycle Management* ». Underscience Publishers, PLM: Emerging solutions and challenges for Global Networked Enterprise, ISBN 0-907776-18-3, pages 475-484, 2005.
- [Sub 05] E. Subrahmanian, et al., (2005) « *Product Lifecycle Management support: a challenge in supporting product design and manufacturing in a networking economy* ». In Proceedings of the international conference on Product Lifecycle Management PLM'05, pages 495-506, Lyon, France, juillet 2005.
- [Sud 03] R. Sudarsan et al., « *Object oriented representation of electromechanical assemblies using UML* ». NIST internal report NISTIR 7057, 2003.
- [Sud 04] R. Sudarsan et al., « *Information models for product representation: core and assembly models* ». NIST internal report NISTIR 7173, 2004.
- [Tan 01] M. X. Tang et J. Frazer, « *A representation of context for computer supported collaborative design.*». Automation in Construction 10(6): 715-729, 2001.
- [Teh 99] A. Tehari, « *Analyse morphologique de modèles pour décrire un produit par des caractéristiques en fonction du point de vue* ». Thèse de doctorat, Université Claude Bernard-Lyon1,1999.
- [Ter 05] S. Terzi, « *Gestion du Cycle de Vie des Produits: Définitions, Problèmes Ouverts et Modèles de Référence* ». Thèse de doctorat en Automatique, Traitement du signal et Génie Informatique, Université Henri Poincaré, Nancy-I, 27 mai 2005.
- [Tol 99] M.Tollenaere, « *Internet, Intranet, SGDT : couvertures fonctionnelles et complémentarités* ». Journée PRIMECA, IFMA, Clermont-Ferrand, 10 juin 1999.
- [Usc 95] M.Ushold et M.King, « *Towards a methodology for building ontologies* ». In Proceedings of the Workshop on Basic Ontological Issues in Knowledge Sharing, IJCAI'95, 1995.
- [Wan 02] H.F.Wang et Y.L.Zhang, « *CAD/CAM integrated system in collaborative development environment* ». Robotics and Computer Integrated

Manufacturing, vol. 18, pages 135-145, 2002.

- [Ver 99] A.H.Verschoor et L.Reijnders, « *The use of life cycle methods by seven major companies* ». Journal of Cleaner Production, 7, pages 375-382, 1999.
- [Vag 85] M.Vaghul et J.R.Dixon, « *Expert system in CAD environment: Injection molding part design as an example* ». In Proceedings of the ASME Computers in engineering Conference, Boston , USA, 1985.
- [Var 95] C.Vargas, « *Modélisation du processus de conception en ingénierie des systèmes mécaniques* », Thèse de Doctorat, Ecole Normale Supérieure de Cachan, 1995.
- [Web 04] Weber, S., *The Success of Open Source*, Harvard University Press 2004.
- [Wel 01] C.Welty et N.Guarino, « *Supporting ontological analysis of taxonomic relationships* ». Data et Knowledge Engineering vol. 39, pages 51-74, 2001.
- [Yeh 00] S.C.Yeh et C.F.You, « *Implementation of STEP-Based Product Data Exchange and Sharing* ». Concurrent Engineering Research and Applications, vol.8, no.1, pages 50-60, 2000.
- [Zha 98a] F.Zhang, D.Xue, D.Wallace, « *Distribution modelling and evaluation of product design problems* ». Computer Aided Design, vol. 30, pages 411-423, 1998.
- [Zha 00] Y.Zhang, C.Zhang et H.P.Wang, « *An Internet based STEP data exchange framework for virtual enterprises* », Computer in Industry 41, pages 51-63, 2000.

2. Références techniques

- [Acc 01] Accenture, « *Collaborating To Compete: A New Way Forward* ». www.accenture.com, 2001.
- [AMR] AMR research group, <http://www.amrresearch.com/>
- [ARC 03] ARC Advisor Group News, « *PLM Market to more than double* ». What is PLM? www.arcweb.com, 2003.
- [Baa] IBaan - Positioning white paper, www.baan.com
- [Bet 02] Betasphere, « *Collaborative Product Commerce (CPC) Solutions from Sun* ». www.betasphere.com, 2002.
- [BPML 05] Business Process Modeling Language (BPML). 2005.

- [Cam 03] Cambashi, « *Is PLM applicable to AEC?* ». www.cambashi.co.uk, 2003
- [CCSDS 5] CCSDS, « *CCSDS 650.0-B-1: Reference Model for an Open Archival Information System (OAIS). Blue Book. Issue 1. ISO 14721:2003.* ». 2005.
- [CIM 01] CIMdata, « *Collaborative Product Definition management (cPDm): An Overview of a Collaborative Approach to Managing the Product Definition Lifecycle* », CIMdata Inc, Ann Arbor, <http://www.cimdata.com>, 2001.
- [CIM 02] CIMData, « *The benefits of Digital Manufacturing* ». A CimData white paper, www.CIMdata.com, 2002.
- [CIM 02b] CIMdata, « *Product lifecycle Management. Empowering the Future of Business* ». www.cimdata.com, 2002.
- [CML 05] CML. www.xml-cml.org/ . 2005.
- [DAM 01] Annotated DAML+OIL Ontology Markup. W3C Note 18 December 2001.
- [Dat] Datatech, <http://www.datatechresources.com/>
- [DSTC 05] DSTC RM-ODP Information Service. http://www.dstc.edu.au/Research/Projects/ODP/ref_model.html . 2005.
- [Gar] Gartner group, <http://www.gartner.com/>
- [GDT 06] Cours de Gestion des données techniques et workflows associés, UVP Nancy1, 2006, disponible en ligne à : http://www.cyber.uhp-nancy.fr/demos/QUAL-017/cha_2/resume_2.html
- [GER 98] GERAM, « *IFIP-IFAC task force, Annex A to ISO 15704* », ISO TC184/SC5/WG1 N423, 1998.
- [IBM] IBM, www.ibm.com
- [IGE 80] IGES, « *Initial Graphics Exchange Specification* ». ANSI Y 14.26M, ANSI – American National Standard Institute, USA, 1980.
- [Imp] Impactsoft, www.impactsoft.com
- [IMS] IMS NoE, www.ims-noe.org
- [IPC257 05] Shop floor communications (PDX): IPC 257x. <http://webstds.ipc.org/2571/2571.htm> . 2005.

- [ISO 10303-1 94] ISO 10303-1, « *Industrial automation systems -- Product data representation and exchange -- Part 1: Overview and Fundamental Principles* ». ISO/IEC, Geneva, Switzerland, 1994.
- [ISO 10303-11 94] ISO 10303-11, « *Industrial automation systems and integration -- Product data representation and exchange -- Part 11: Description methods: The EXPRESS language reference manual* ». ISO/IEC, Geneva, Switzerland, 1994.
- [ISO 10303-11 00] ISO 10303-11, « *Industrial automation systems and integration -- Product data representation and exchange -- Part 11: Description methods: The EXPRESS language reference manual* ». ISO/IEC, Geneva, Switzerland, 2000.
- [ISO 10303-21 94] ISO 10303-21, « *Industrial automation systems and integration -- Product data representation and exchange -- Part 21: Implementation methods: Clear text encoding of the exchange structure (Physical file)* ». ISO/IEC, Geneva, Switzerland, 1994.
- [JEPCO 05] Joint Electronic Commerce Program Office (JECPO) re-named as Defense Electronic Business Program Office.
<http://www.defenselink.mil/acq/ebusiness/> . 2005.
- [KIF 05] KIF-Knowledge Interchange Format.
<http://logic.stanford.edu/kif/kif.html> . 2005.
- [Lin] Linius Technologies, www.linius.com
- [LISI 98] LISI. Levels of Information Systems Interoperability (LISI). C4ISR98, C4ISR Architecture Working group, 1998,
http://www.c3i.osd.mil/org/cio/i3/AWG_Digital_Library/ . 1998.
- [MatML 05] Materials Markup Language (MatML). www.matml.org . 2005.
- [Met] Metagroup, www.metagroup.com
- [OGL 05] OpenGL - The Industry Standard for High Performance Graphics.
<http://www.opengl.org/> . 2005.
- [OIL 02] OIL, Ontology Interchange Language Home Page, http://www.cs.colorado.edu/~eliuser/elionline4.3/oil_5.htm, 2002.
- [OMG 03] OMG: UML 2.0 Superstructure Specification. 2003.
- [OML 05] OpenML - The Standard for Dynamic Media Authoring.
<http://www.khronos.org/openml/> . 2005.
- [Ont 05] Les ontologies,
<http://bioinfo.unice.fr/enseignements/www2005/documentation/on>

[tologies/Ontologies_Generalites.html](#)]

- [OWL 04] Ontology Web Language. <http://www.w3.org/2004/OWL/> . 2004.
- [PDML 05] Product Data Markup Language (PDML).
<http://www.PDML.org/pdmlintro.html> . 2005.
- [PLM IG] PLM Interest Group, www.plm-ig.com (www.johnstark.com)
- [PLMXML 05] PLMXML. www.plmxml.org . 2005.
- [PSL 05] Process Specification language (PSL). <http://www.nist.gov/psl.2005>.
- [QAD 02] QAD, « Unified Product Lifecycle Management ». A Qad White Paper, <http://www1.qad.com/portal/site/solutioncenter/>, 2002.
- [RDF 04] Resource Description Framework (RDF):
Concepts and Abstract Syntax. W3C Recommendation 10 February 2004.
- [RDF 05] RDF- Resource Description Framework. www.w3.org/RDF/ ,2005.
- [Rul] Rulestream, www.rulestream.com
- [SAP] SAP, www.sap.com
- [SCOR 05] SCOR: Supply Chain Operations Reference-model.
<http://www.supply-chain.org/index.wv> . 2005.
- [SET 89] SET : Z 68-300, « *Industrial Automation – External Representation of Product Definition Data – Data Exchange and Transfert Standard Specification* ». AFNOR- Association Française de Normalisation, France, 1989.
- [SML 05] STEPml - STEP markup Language. <http://www.stepml.org/> . 2005.
- [SOAP 05] SOAP Specifications. <http://www.w3.org/TR/soap/> . 2005.
- [SPDM 05] The STEP PDM Schema Home Page. http://www.pdm-if.org/pdm_schema/ . 2005.
- [SUN 01] SUN, « *Collaborative Product Commerce (CPC) Solutions from Sun* ». Sun Whitepaper, www.sun.com, 2001.
- [TEC] Tecnomatix, www.tecnomatix.com
- [TEV] Technology Evaluation, www.technologyevaluation.com
- [Tru] TrueInnovations, www.trueinnovations.com

- [UGS] UGS, www.ugsplm.com
- [VCOR 05] VCOR: Value-Chain Operations Reference. www.value-chain.org . 2005.
- [VDA 86] VDA-FS, « *Vereinigung Deutsche Automobilindustrie Flächen Schnittstelle : DIN 66301* ». DIN-Deutsches Instiut für Normung, Germany, 1986.
- [W3D 05] Web3D: Open Standards for Real-Time 3D Communication. <http://www.web3d.org/> . 2005.
- [ebXML 05] ebXML. <http://www.ebxml.org/> . 2005.
- [cXML 05] cXML. <http://www.cxml.org/> . 2005.
- [XrML 05] eXtensible rights Markup Language (XrML). www.xrml.org/ . 2005.
- [XML 02] XML, eXtended Markup Language Specification, *http://www.w3.org/TR/REC-xml*, 2002.

Annexe 1 : ACRONYMES

AP : Application Protocol (protocole d'application)
API : Application Programming Interface
APS : Advances Planning System
ARM : Application Reference Model (modèle de référence d'application)
BOM : Bill Of Material
BPA : Business Process Automation
BREP : Boundary Representation (représentation par les frontières)
CAD : Computer Aided Design, équivalent anglais de CAO
CAE : Computer Aided Engineering
CAM : Computer Aided Manufacturing
CAO : Conception Assistée par Ordinateur
CAPP : Computer Aided Process Planning
CAX : Computer Aided X
CFAO : Conception et fabrication assistées par ordinateur
CPD : Collaborative Product Definition
cPDM : Collaborative Product Data Management
CPC : Collaborative Product Commerce
CRM : Customer Relationship Management
DAO : Dessin Assisté par Ordinateur
DFM : Design For Manufacturing
DM : Document Management
DME : Digita Manufacturing Engineering
DMU : Digital Mock Up
EDI : échange de données informatisé
EDM : Electronic Document Management
ERP : Enterprise Resource Planning
FEA : Finite Element Analysis
GDT : Gestion des Données Techniques
GED : Gestion Electronique de Documents
GEIDE : Gestion Electronique d'Informations et de Documents pour l'Entreprise
GLAO : Génie Logiciel Assisté par Ordinateur
GMAO : Gestion de Maintenance Assistée par Ordinateur
GPAO : Gestion de Production Assistée par Ordinateur
IAO : Ingénierie Assistée par Ordinateur
IGES : Initial Graphics Exchange Specification
IR : Integrated Ressources (ressources intégrées)
ISO : International Standard Organization
KM : Knowledge Management
MRP : Material Requirement Planning
MOCN : Machine Outil à Commande Numérique
OMG : Object Management Group
PDM : Product Data Management
PIM : Product Information Management
PLM : Product Life-cycle Manangement
SCM : Supply Chain Management
SDAI : Standard Data Access Interface (interface normalisée d'accès aux données)

SDM : Simulation Data Management
SGDT : Système de Gestion de Données Techniques
SLM : Service Lifecycle Management
STEP : Standard for the Exchange of Product data
TDM : Technical Data Management
UoF : Units of Fonctionality
UML : Unified Modeling Language
WFM: Work Flow Management
XAO:technologie X Assistée par Ordinateur

Annexe 2 : Présentations des entreprises d'accueil

1. L'entreprise ENMPT AinSmara

1.1. Domaine d'activité

L'ENMTP est une entreprise spécialisée dans le développement de tout processus de fabrication et distribution entrant dans la filière travaux publics de l'industrie mécanique. L'activité actuelle porte sur la conception, la production et la commercialisation de matériels de terrassement, de levage, de manutention et de compactage, ainsi que sur les matériels pour air comprimé et enrobés; et ceux pour la préparation de béton et autres matériaux. L'ENMTP travaille sous les licences de marques internationales reconnues:

- **LIEBHERR** (ALLEMAGNE) pour les pelles et grues
- **O & K** (ALLEMAGNE) pour les chargeurs sur pneus
- **FIATALLIS** (ITALIE) pour les bulldozers
- **INGERSOLL RAND CIE** (USA) dans le domaine du compresseur et compacteur
- **POTAIN** (FRANCE) pour la fabrication de grues de bâtiment

1.2. Potentiel productif

Le potentiel industriel de L'ENMTP est considéré comme l'un des plus importants d'Afrique. Il est structuré selon une spécialisation par lignes de produits, chaque unité disposant de la plus grande autonomie industrielle. Le taux d'intégration moyen des engins produits est estimé à l'heure actuelle à 70%. Les unités de production de L'ENMTP sont les suivantes :

- Le complexe pelles et grues (CONSTANTINE)
- Le complexe compresseurs et compacteurs (CONSTANTINE)
- L'unité grues bâtiment (BEJAIA)
- L'unité matériel de béton (ALGER)

2. L'entreprise PMO/ALEMO Oued hamimime

2.1. Présentation et domaine d'activité

Depuis plus de 25 ans, l'Entreprise Nationale de Production de Machines-Outils (PMO) fabrique des Machines-outils et de l'Outillage de coupe. Elle a capitalisé un savoir faire dans la fabrication de Machines-outils fer travaillant par enlèvement de copeaux (Fraiseuses, Tours, Perceuses, Scies mécaniques).

Dans le cadre de sa stratégie de diversification des activités, PMO s'est redéployée vers d'autres créneaux à savoir :

- Fabrication des ensembles mécaniques et pièces de rechange.
- Fabrication des équipements de meunerie.

- Montage des Machines outils Bois.
- Maintenance et rénovation des Machines outils et équipements agro-alimentaires.
- Commercialisation des systèmes de formation pour usinage CNC.

2.2. Partenariat

PMO sollicite le Partenariat des fabricants étrangers dans les domaines suivants :

1. Machines Outils Fer : Fabrication en commun de Machines Conventionnelles (Tours et Fraiseuses), cession de licences de Machines Conventionnelles, partenariat Technologique et Commercial pour les Machines Outils à commande numérique, Partenariat Technologique et Commercial pour la fabrication d'équipements à usage didactique (conventionnels et à commande numérique).
2. Equipements de Meunerie : Partenariat Technologique et commercial dans le domaine des équipements de meunerie (Appareil à Cylindre, Plansichtier).

2.3. Sous-traitance

PMO possède d'importantes capacités d'usinage et peut prendre en Sous-traitance la fabrication de divers types de composants (arbres, engrenages, vis mère).

Résumé : Dans cette thèse, je me suis d'abord intéressée à étudier l'apport de la modélisation de solide dans les disciplines de CAO, CFAO et les technologies XAO. La modélisation de solide ne prend en charge que la géométrie du produit. Or, la complexité des produits industriels va bien au-delà. Considérée comme un des événements majeurs du 21^{ème} siècle, la mondialisation, a eu pour effets la délocalisation des sites et la fragmentation des sociétés en services distincts et distribués. Les besoins en terme d'échange, de partage et d'archivage de l'information se sont accrus. Les différentes activités industrielles à fort caractère technologique génèrent et manipulent de grandes quantités de données techniques aux formats hétérogènes qui nécessitent d'être échangées, gérées et stockées de manière cohérente et standardisée. L'intégration est devenu un problème critique. Le PLM (Product Lifecycle Management) est une solution possible à ces problèmes. C'est une discipline industrielle destinée à gérer toutes les données relatives à un produit durant tout son cycle de vie afin d'en maîtriser le développement et d'en garantir la traçabilité. J'ai orienté ma contribution vers l'étude de trois approches d'intégration dans une optique PLM, correspondant à trois niveaux distincts : par les standards, par les données techniques (via les features) et par les méta données. La troisième approche a fait l'objet d'une plus profonde investigation illustrée par la création d'une ontologie de produit. Les résultats obtenus sont très prometteurs en ce sens qu'ils montrent à travers des exemples des secteurs académique et industriel que l'ontologie est non seulement exploitable à des fins d'intégration mais aussi pour faire du raisonnement automatique, moyennant une plus grande formalisation, ce qui rend ses perspectives d'utilisation nombreuses et variées. Dans le contexte du PLM, cette approche pourrait représenter le fondement d'un nouveau système susceptible d'intéresser la grande communauté industrielle et académique.

Mots-clés : intégration d'information, PLM, ontologies de produit, interopérabilité sémantique.

Abstract : This thesis is firstly concerned with the contribution of solid modelling to fields like CAD, CAM and CAX. Solid modelling is only concerned with the geometric aspect of an industrial product. This is insufficient to capture its growing complexity. Globalization has increased this phenomenon by giving birth to new delocalized distributed and fragmented environments. In industrial enterprises, the need for a convenient way to correctly exchange, manage and share huge amounts of heterogeneous product data between partners and services has become a critical issue. Exchanging and managing product data in a coherent and standard way have become the key factors of success for any industry. Consequently, information integration in such environments has become one of today's hottest topics. PLM (Product Lifecycle Management) is an interesting perspective of solution. It is concerned with the management of product information throughout the entire product lifetime. In the present work, we deal with the problem of data integration in a PLM vision. This thesis presents three approaches of integration corresponding respectively to three levels: standard level, technological data level and meta-data level.

An emphasis has been put on the third approach by proposing a generic and extendible product ontology that embraces the entire spectrum of product data pertaining to the mechanical field. The study proves the efficiency of ontologies as a support to product data exchange and information sharing, especially in product development environments. As a consequence these results could be exploited to create a product ontology that may constitute the foundation for a new PLM solution for business fields as well as academic ones.

Keywords: Information integration, product lifecycle management, product ontology, semantic interoperability.