

Cadre de modélisation pour les systèmes PLM en entreprise étendue. Application aux PME mécaniciennes.

Julien Le Duigou

▶ **To cite this version:**

Julien Le Duigou. Cadre de modélisation pour les systèmes PLM en entreprise étendue. Application aux PME mécaniciennes.. Sciences de l'ingénieur [physics]. Ecole Centrale de Nantes (ECN), 2010. Français. NNT : . tel-00487196

HAL Id: tel-00487196

https://theses.hal.science/tel-00487196

Submitted on 28 May 2010

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

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

École Centrale de Nantes

ÉCOLE DOCTORALE

Science Pour l'Ingénieur, Géosciences, Architecture

Année 2010 N° B.U. :

Thèse de DOCTORAT

Spécialité : GENIE MECANIQUE

Présentée et soutenue publiquement par :

JULIEN LE DUIGOU

le 22 Avril 2010
à l'École Centrale de Nantes

TITRE

CADRE DE MODELISATION POUR LES SYSTEMES PLM EN ENTREPRISE ETENDUE
APPLICATION AUX PME MECANICIENNES

JURY

Président :	Abdelaziz BOURAS	Professeur des Universités, Université Lumières Lyon II
Rapporteurs :	Abdelaziz BOURAS	Professeur des Universités, Université Lumières Lyon II
	Benoît EYNARD	Enseignant Chercheur, HDR, Université de Technologie de Compiègne
	F.J.A.M. VAN HOUTEN	Professeur des Universités, Université de Twente
Examinateurs :	Michel BIGAND	Maître de Conférences, HDR, École Centrale de Lille
	Alain BERNARD	Professeur des Universités, École Centrale de Nantes
	Nicolas PERRY	Maître de Conférences, HDR, Université de Bordeaux I
Invité :	Jean-Charles DELPLACE	Centre Technique des Industries Mécaniques

Directeur de thèse : Alain BERNARD / Laboratoire : IRCCyN
Co-directeur : Nicolas PERRY / Laboratoire : LGM²B N° ED 489-104

Remerciements

Je voudrais tout d'abord remercier chaleureusement mes encadrants durant cette thèse :

- *Je remercie en premier lieu Alain Bernard, Professeur à l'École Centrale de Nantes, pour m'avoir encadré et m'avoir fait confiance durant ces trois années de thèse.*

- *J'adresse également de vifs remerciements à Nicolas Perry, Maitre de conférences HDR à l'Université Bordeaux 1, pour ses très nombreux conseils et son soutient constant.*

- *Je remercie tout particulièrement Jean-Charles Delplace, Chef de Projet au Cetim, pour son encadrement industriel quotidien et son enthousiasme contagieux.*

Eyjafjöll ayant bloqué au sol tous les avions d'Europe la semaine de ma soutenance, je souhaite remercier l'ensemble des membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à mes travaux mais également pour leur réactivité. Plus particulièrement, j'ai l'honneur de remercier :

- *Abdelaziz Bouras, Professeur à l'Université Lumière Lyon II, pour avoir accepté de la double tâche de présider le jury de thèse ainsi que de rapporter sur mon manuscrit.*

- *Benoît Eynard, Enseignant Chercheur HDR à l'Université de Technologie de Compiègne, pour les commentaires pertinents qu'il a fournie en tant que rapporteur de ce travail.*

- *Fred Van Houten, Professeur à l'Université de Twente, pour avoir accepté de relire avec minutie ce mémoire.*

- *Michel Bigand, Maître de Conférences HDR à l'Ecole Centrale de Lille, pour avoir accepté d'être examinateur de mon travail de thèse, ses remarques me furent très utiles.*

Je tiens à remercier Chris McMahon, Professeur à l'Université de Bath, qui m'a fourni de précieuses remarques lors de nos rencontres, même si malheureusement il n'a pas pu être présent avec nous lors de la soutenance a cause des évènements météorologiques exceptionnels en Islande.

Ce travail étant le fruit d'une collaboration entre le Cetim et l'Ecole Centrale de Nantes, je remercie les membres de l'équipe IVGI de l'IRCCyN ainsi que les membres du pôle ICI du Cetim, qui ont su instaurer dans mes différents lieux de travail des ambiances à la fois conviviales et studieuses. Je remercie également l'ensemble du personnel du Cetim et de l'Ecole Centrale de Nantes pour leur gentillesse et leur soutient.

J'ai une pensée pour Hedi Chaker Kebsi, étudiant à l'Université de Nantes pour avoir brillamment participé au développement du démonstrateur durant son stage de master.

Je remercie tout le personnel des sociétés PSL Concept, SMP et Capricorn pour m'avoir accueilli, intégré et aidé lors de mes immersions en entreprises.

Enfin j'adresse mes remerciements à ma famille et mes amis qui m'ont toujours soutenu dans ce projet.

Nantes, le 23 Avril 2010

Table des matières

INTRODUCTION GENERALE 1

1. CONTEXTE INDUSTRIEL 7

1.1 LES PME MECANICIENNES 7
1.2 LE PARADIGME PLM CHEZ LES PME 10
1.3 TYPOLOGIE DES PME MECANICIENNES 13
1.4 LES VERROUS INDUSTRIELS A LEVER 16

2. ÉTAT DE L'ART 21

2.1 PRODUCT LIFECYCLE MANAGEMENT 22
2.1.1 Le paradigme PLM 22
2.1.2 Les outils PLM 26
2.1.3 Conclusion sur le PLM 29
2.2 LES SYSTEMES A BASE DE CONNAISSANCES 30
2.2.1 Définitions 30
2.2.2 Les méthodes de KBS 31
2.2.3 Conclusion sur le KBS 32
2.3 LA MODELISATION D'ENTREPRISE 33
2.3.1 Définition des objets d'entreprises 33
2.3.2 Les langages de modélisation 35
2.3.3 Les cadres de modélisation 36
2.3.4 Les modèles de produit 42
2.3.5 Conclusion sur la modélisation d'entreprise 46
2.4 L'INTEROPERABILITE 46
2.5 LES VERROUS SCIENTIFIQUES A LEVER 49

3. PROPOSITION ET APPLICATION D'UNE METHODE INDUCTIVE DE MODELISATION D'ENTREPRISE 53

3.1 METHODE DE MODELISATION 53
3.2 APPLICATION DE LA METHODE A TROIS ENTREPRISES PILOTES 56
3.2.1 Entreprise de type équipementier : SMP 57
3.2.1.1 Identification du besoin 58
3.2.1.2 Modélisation des processus 59
3.2.1.3 Extraction des objets 62
3.2.1.4 Validation 65
3.2.1.5 Conclusion sur SMP 66
3.2.2 Entreprise de type composant : PSL Concept 66
3.2.2.1 Identification du besoin 67
3.2.2.2 Modélisation des processus 68
3.2.2.3 Extraction des objets 73
3.2.2.4 Validation 75
3.2.2.5 Conclusion sur PSL Concept 77
3.2.3 Entreprise de type métier : Capricorn 77
3.2.3.1 Identification du besoin 79
3.2.3.2 Modélisation des processus 80
3.2.3.3 Extraction des objets 82
3.2.3.4 Validation 83
3.2.3.5 Conclusion sur Capricorn 85
3.3 BILAN DES IMMERSIONS 85

4. CADRE METHODOLOGIQUE POUR L'IMPLEMENTATION DE SYSTEMES PLM 89

4.1 CONSTRUCTION DU CADRE 89
4.1.1 Cartes de besoins 91
4.1.2 Processus 94
4.1.3 Modèle de données générique 95
4.1.4 Interopérabilité du modèle générique 106
4.1.1.1 Lien avec STEP AP 214 106
4.1.1.2 Lien avec FBS-PPRE 107
4.1.1.3 Lien avec IPPOP 107
4.1.1.4 Conclusion sur l'interopérabilité 108
4.1.2 Niveaux d'instanciation du cadre de modélisation 108
4.1.2.1 Proposition de trois niveaux d'instanciation 108
4.1.2.2 Quelles informations échanger ? 110
4.1.3 Conclusion sur le cadre de modélisation 111
4.2 UTILISATION DU CADRE : IMPLEMENTATION D'UN SYSTEME PLM 112
4.2.1 Création du modèle particulier 114
4.2.2 Création du référentiel de l'entreprise 115
4.3 CONCLUSION SUR LE CADRE DE MODELISATION 116

5. APPLICATION DU MODELE 119

5.1 DEMONSTRATEUR 119
5.1.1 Architecture et choix techniques 119
5.1.2 Interface 120
5.1.3 Fonctionnalités 123
5.2 CAS D'APPLICATION 126
5.3 CONCLUSION SUR L'APPLICATION DU MODELE 133

6. CONCLUSION GENERALE 137

BIBLIOGRAPHIE 143

VALORISATION DES TRAVAUX DE THESE 143
Publications dans des revues d'audience internationale à comité de lecture 143
Communications à des congrès internationaux à comité de sélection et actes publiés 143
Colloques sans actes ou avec actes à diffusion restreinte 144
BIBLIOGRAPHIE EXTERNE 145

Table des figures

FIGURE 0-1: CYCLE EN V INVERSE 2
FIGURE 0-2: PLAN DU MANUSCRIT 3
FIGURE 0-3: SCHEMA GENERAL DE LA THESE 4
FIGURE 1-1: ENTREPRISE ETENDUE 8
FIGURE 1-2: INFLUENCE DES MODIFICATIONS SUR LES COUTS [DEC 98] 9
FIGURE 1-3: ENQUETE DE BESOINS [CET 07B] 11
FIGURE 1-4: ATTENTES DU MAITRE D'ŒUVRE [ELK 09] 12
FIGURE 1-5: SYSTEMES DEMANDEURS D'INTEROPERABILITE [ELK 09] 12
FIGURE 1-6: PRINCIPAUX PROBLEMES RENCONTRES [ELK 09] 13
FIGURE 1-7: TYPOLOGIE DES PME MECANICIENNES 14
FIGURE 2-1: INTEGRATION DES KBS DANS LE PLM 21
FIGURE 2-2: CYCLE DE VIE DU PRODUIT REEL 23
FIGURE 2-3: CYCLE DE VIE DU PRODUIT VIRTUEL 23
FIGURE 2-4: PRINCIPES DU SYSTEME PLM [DUT 05] 24
FIGURE 2-5: SYSTEME PLM ET APPLICATIONS METIERS 25
FIGURE 2-6: METHODOLOGIE POUR UN MEGA-MODELE ONTOLOGIQUE [LOM 06] 27
FIGURE 2-7: LIEN ENTRE DONNEE, INFORMATION, CONNAISSANCE ET COMPETENCE [GAR 99] 30
FIGURE 2-8: MODELE DE PRODUIT DE MOKA [MML 00] 31
FIGURE 2-9: DESCRIPTION DES INTERACTIONS PRODUIT, PROCESSUS, RESSOURCE ET EFFET EXTERNE SELON [LAB 04] 34
FIGURE 2-10: MODELE FBS [GER 90] 34
FIGURE 2-11: CADRE DE MODELISATION DE MERISE [WAL 90] 38
FIGURE 2-12: MAISON D'ARIS [SCH 98] 38
FIGURE 2-13: CADRE DE ZACHMAN [ZAC 87] 39
FIGURE 2-14: CADRE DE MODELISATION DE GIM [DOU 98] 39
FIGURE 2-15: CUBE DE CIMOSA [KOS 99] 40
FIGURE 2-16: CADRE DE MODELISATION DE PERA [WIL 94] 40
FIGURE 2-17: CADRE DE MODELISATION DE GERAM [GER 99] (A GAUCHE) ET DE VERAM (A DROITE) [ZWE 01] 41
FIGURE 2-18: META-MODELE FBS-PPRE [LAB 04] 42
FIGURE 2-19: META-MODELE IPPOP [ROU 07] 43
FIGURE 2-20: META-MODELE PRODUIT [GZA 00] 44
FIGURE 2-21: META-MODELE PROCESSUS [GZA 00] 44
FIGURE 2-22: BESOINS EN INTEROPERABILITE [INT 04] 47
FIGURE 2-23: LES NIVEAUX D'INTEROPERABILITE, DE GAUCHE A DROITE : INTEGRE, UNIFIE ET FEDERE 48
FIGURE 3-1: LOGIGRAMME DE LA METHODE 55
FIGURE 3-2: CAO D'UN CENTRE D'AFFUTAGE 58
FIGURE 3-3: CARTE DE BESOINS SMP 59
FIGURE 3-4: CIBLE DU CAS SMP SUR LE PLC 60
FIGURE 3-5: PROCESSUS DE DEVELOPPEMENT PRODUIT CHEZ SMP 61
FIGURE 3-7: MODELE DE DONNEES PRODUIT SMP 62
FIGURE 3-8: DECOMPOSITION D'UNE AFFUTEUSE VUE BE 63
FIGURE 3-9: DECOMPOSITION D'UNE AFFUTEUSE VUE ERP 64
FIGURE 3-10: MODELE DE DONNEES PROJET SMP 64
FIGURE 3-11: PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DU DEMONSTRATEUR 65
FIGURE 3-12: NOMENCLATURE EXCEL 66
FIGURE 3-13: DESCRIPTION D'UNE POULIE 67
FIGURE 3-14: CARTE DE BESOINS PSL CONCEPT 68

FIGURE 3-15: CIBLE DU CAS PSL CONCEPT SUR LE PLC 69
FIGURE 3-16: DECOMPOSITION FONCTIONNELLE D'UNE POULIE 70
FIGURE 3-17: QUELQUES PARAMETRES DE CONCEPTION D'UNE POULIE 70
FIGURE 3-18: DECOMPOSITION D'UNE FAMILLE DE PRODUITS 71
FIGURE 3-19: PROCESSUS PSL CONCEPT 72
FIGURE 3-20: MODELE DE DONNEES PSL CONCEPT 73
FIGURE 3-21: DECOMPOSITION STRUCTURELLE D'UNE POULIE 74
FIGURE 3-22: DECOMPOSITION FONCTIONNELLE D'UNE POULIE 74
FIGURE 3-23: PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DU DEMONSTRATEUR 75
FIGURE 3-24: DESCRIPTION D'UN VILEBREQUIN 78
FIGURE 3-25: CARTE DE BESOINS CAPRICORN 79
FIGURE 3-26: CIBLE DU CAS CAPRICORN SUR LE PLC 80
FIGURE 3-27: PROCESSUS CAPRICORN 81
FIGURE 3-28: MODELE DE DONNEES CAPRICORN 82
FIGURE 3-29: GAMME DE FABRICATION D'UN VILEBREQUIN 83
FIGURE 3-30: PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DU DEMONSTRATEUR 83
FIGURE 3-31: INTERFACE DU PROGRAMME 84
FIGURE 3-32: PLAN DE PHASE D'UN INTERMEDIAIRE 84
FIGURE 3-33: ÉTAPES DU CYCLE DE VIE COUVERTES PAR LES ENTREPRISES PILOTES 86
FIGURE 4-1: CONSTRUCTION DES MODELES GENERIQUES 90
FIGURE 4-2: CARTE DE BESOINS GLOBALE 93
FIGURE 4-4: PROCESSUS GLOBAL 95
FIGURE 4-5: DIAGRAMME DE CLASSES UML SIMPLIFIE DU MODELE GENERIQUE 96
FIGURE 4-6: DIAGRAMME DE CLASSES UML DE L'ACTIVITE 98
FIGURE 4-7: INSTANCIATION DE LA CLASSE ACTIVITE 98
FIGURE 4-9: DIAGRAMME DE CLASSES UML DU PRODUIT 100
FIGURE 4-10: DIAGRAMME DE CLASSES UML DU MATERIAU 101
FIGURE 4-11: DIAGRAMME DE CLASSES UML DE LA FONCTION 102
FIGURE 4-12: DIAGRAMME DE CLASSES UML DE LA RESSOURCE 103
FIGURE 4-13: DIAGRAMME DE CLASSES UML DE L'ORGANISATION 104
FIGURE 4-14: DIAGRAMME DE CLASSES UML DU MODELE GENERIQUE 105
FIGURE 4-15: MODELE D'UN OBJET D'ENTREPRISE 107
FIGURE 4-16: MODELE UNIFIE 109
FIGURE 4-17: SPECIALISATION DU PRODUIT 109
FIGURE 4-18: SPECIALISATION DE L'OPERATION 110
FIGURE 4-19: DEUX ENTREPRISES DE DOMAINES DIFFERENTS 110
FIGURE 4-20: DEUX ENTREPRISES DU MEME DOMAINE 111
FIGURE 4-21: CADRE DE MODELISATION 112
FIGURE 4-22: METHODE D'UTILISATION DU CADRE 113
FIGURE 4-23: METHODE D'INSTANCIATION DU MODELE GENERIQUE 114
FIGURE 5-1: ARCHITECTURE DU DEMONSTRATEUR 119
FIGURE 5-2: CONFIGURATION 1, 2 & 3 120
FIGURE 5-3: INTERFACE DU DEMONSTRATEUR 122
FIGURE 5-4: CLASSES / SOUS-CLASSES 123
FIGURE 5-5: GESTION DES VERSIONS 124
FIGURE 5-6: GESTION DES DROITS 125
FIGURE 5-7: CARTE DE BESOINS GLOBALE SIMPLIFIEE 126
FIGURE 5-8: SELECTION D'UN ARTICLE CHEZ UN FOURNISSEUR 127
FIGURE 5-9: DECOMPOSITION STRUCTURELLE D'UNE POULIE 128
FIGURE 5-10: DECOMPOSITION FONCIONNELLE D'UN FLASQUE 128

FIGURE 5-11: VUE STRUCTURE D'UNE AFFUTEUSE 130
FIGURE 5-12: VUE FABRICATION D'UNE AFFUTEUSE 130
FIGURE 5-13: GAMME DE FABRICATION D'UN VILEBREQUIN 131
FIGURE 5-14: OPERATION OP20 132
FIGURE 5-15: ÉTAPES DU CYCLE DE VIE COUVERTES PAR LE DEMONSTRATEUR 133

Table des tableaux

TABLEAU 1-1: PROFESSIONS DE LA MECANIQUE 8
TABLEAU 1-2: ENQUETE INGENIERIE NUMERIQUE [CET 07A] 10
TABLEAU 1-3: LIEUX D'ORIGINE DU BESOIN [TER 09] 12
TABLEAU 1-4: PROFESSIONS DE LA MECANIQUE SELON LA TYPOLOGIE 15
TABLEAU 2-1: SYNTHESE DES LANGAGES DE MODELISATION 36
TABLEAU 2-2: SYNTHESE DES CADRES DE MODELISATION 41
TABLEAU 2-3: SYNTHESE DES MODELES PRODUIT 46
TABLEAU 3-1: LIENS ENTRE FONCTIONS ET OPTIONS 75
TABLEAU 3-2: PARAMETRES DE CONCEPTION ET OPTIONS ASSOCIEES 76
TABLEAU 4-1: MAPPING ENTRE STEP AP 214 ET NOTRE MODELE 106
TABLEAU 4-2: MAPPING ENTRE IPPOP ET NOTRE MODELE 107

Glossaire

BE: Bureau d'Études
BM: Bureau des Méthodes
CAO: Conception Assistée par Ordinateur
cPLM: Collaborative Product Lifecycle Management
CRM: Customer Relationship Management
ERP: Enterprise Resource Planning
FAO: Fabrication Assistée par Ordinateur
GED: Gestion Électronique des Documents
IRCCyN: Institut de Recherche en Communication et Cybernétique de Nantes
KBE: Knowledge Based Engineering
KBS: Knowledge Based System
KM: Knowledge Management
PDM: Product Data Management
PLM: Product Lifecycle Management
PME: Petites et Moyennes Entreprises
RSS : Really Simple Syndication
SCM: Supply Chain Management
SGDT: Système de Gestion des Données Techniques
SI: Système d'Informations
TIC: Technologie de l'Information et de la Communication
UML: Unified Modelling Language
VOIP: Voice Over IP
XML: eXtended Modelling Language

Introduction générale

Introduction générale

Dans le contexte industriel actuel, les entreprises mécaniciennes françaises sont face à des défis croissants. Après avoir effectué un recentrage sur leur cœur de métier afin d'augmenter leur productivité en opérant des économies d'échelle, il leur est maintenant demandé d'obtenir des compétences de plus en plus diversifiées. En effet, avec la globalisation du marché et l'augmentation des exigences client, elles doivent aujourd'hui produire dans des délais plus courts des produits de plus en plus complexes et individualisés. Pour résoudre ce paradoxe (recentrage sur le cœur de métier et production nécessitant de nombreuses compétences spécifiques), les entreprises se sont adaptées en se regroupant afin de mettre en commun leurs compétences.

Un des points clés de la réussite d'une telle entreprise est sa capacité à communiquer sur le produit cible. Les produits générant de plus en plus d'informations, le système de communication par email, fax et téléphone utilisé par la majorité des entreprises n'est pas suffisamment structuré pour permettre une coopération efficace. Depuis de nombreuses années des logiciels permettant la mise en commun de ces informations sont développés. De la GED[1] dans les années 80 au PDM[2] puis au PLM[3] aujourd'hui, les entreprises et particulièrement les donneurs d'ordres ont bien compris l'intérêt de tels systèmes de structuration et de partage d'informations. Encore faut-il qu'ils répondent aux besoins des entreprises et que celles-ci sachent les utiliser…

Pour permettre une meilleure circulation de l'information au sein de l'entreprise, des modèles doivent être mis en place afin de structurer cette information. C'est l'un des objectifs de l'équipe Ingénierie Virtuelle pour le Génie Industriel de l'IRCCyN[4] fondée sur les bases du projet européen EVEN, et continuant sur le projet VRL-KCiP[5] visant à fournir des méthodes et modèles pour la gestion de la connaissance. Ces thèmes sont initiés en 2001 avec Michel Labrousse et Jean-Charles Delplace, qui proposent respectivement un modèle unifié pour la modélisation des connaissances d'entreprises [LAB 04] et son intégration à l'application de l'ingénierie numérique pour les processus d'une fonderie sable [DEL 04].

En 2006, le Cetim[6] reçoit la demande de la part des représentants des entreprises mécaniciennes d'étudier les améliorations des méthodes et des outils de travail collaboratif. Ces entreprises se sentent non représentées dans les solutions proposées de l'époque. C'est à ce moment que Jean-Charles Delplace rejoint le Cetim pour piloter le projet INC PME : Ingénierie Numérique et Collaborative pour les Petites et Moyennes Entreprises.

---

[1] Gestion Électronique de Documents
[2] Product Data Management
[3] Product Life cycle Management
[4] Institut de Recherche en Communication et Cybernétique de Nantes, http://www.irccyn.ec-nantes.fr, consulté le 19/02/2010.
[5] Site du réseau EMIRAcle, qui fait suite au projet VRL-KCiP, http://www.vrl-kcip.org/, consulté le 19/02/2010.
[6] Centre Technique des Industries Mécaniques, http://www.cetim.fr, consulté le 19/02/2010.

Mais il ne suffit pas de disposer de modèles des connaissances d'entreprise associés à des applications spécifiques dans une entreprise particulière, il faut de plus une méthode pour l'appliquer à une large diversité d'entreprises. C'est dans ce cadre qu'est proposée cette thèse Cifre en partenariat entre le Cetim et l'IRCCyN. Elle a pour objectif de proposer un cadre de modélisation facilitant l'implémentation de systèmes PLM. Ce cadre devra comprendre des modèles et des méthodes adaptés à la modélisation des entreprises du domaine de la mécanique.

Afin de proposer ce cadre permettant la modélisation et l'échange des informations durant le cycle de développement d'un produit, et ce au sein d'une même entreprise comme d'un réseau d'entreprises, la démarche proposée inverse le cycle en V traditionnel. Elle commence par une étape ascendante et inductive pour formaliser des modèles génériques. Puis une deuxième étape descendante et déductive correspond à la validation de notre proposition. Comme pour le cycle en V, chaque étape est validée par des tests et des bouclages (Figure 0-1).

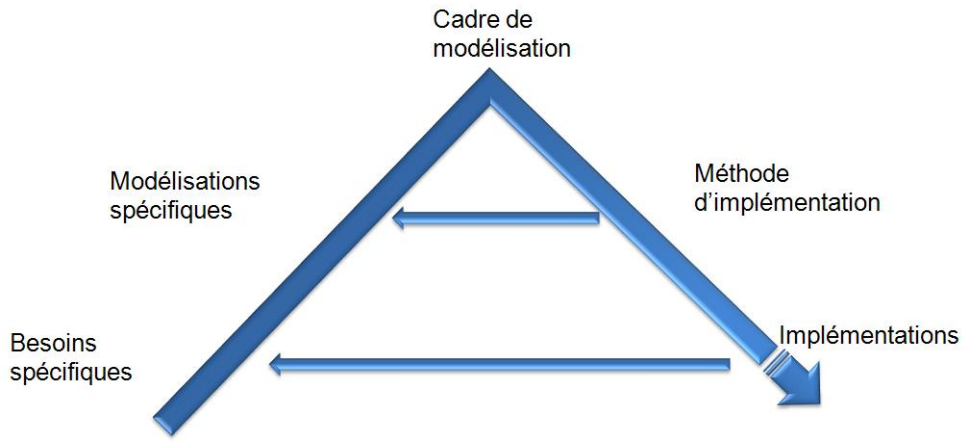


Figure 0-1: Cycle en V inversé

C'est ici une démarche typique de recherche lorsque l'on ne connait pas a priori ce que l'on veut démontrer. Il s'agit alors de partir de l'observation d'expérimentations pour en déduire une théorie avant de la valider par une démonstration théorique ou expérimentale. Les bouclages correspondent aux retours d'expérimentations qui, par un jeu d'essais-erreurs, permettent d'affiner la théorie. Il ne s'agit pas là de la seule démarche de recherche existante, mais celle-ci nous semble particulièrement bien adaptée aux recherches en science de l'ingénieur. Le plan du mémoire découle de cette démarche et est structuré en cinq chapitres (Figure 0-2).

Le **premier chapitre** sera consacré au contexte industriel et plus particulièrement aux entreprises auxquelles s'appliquent ces travaux : les PME mécaniciennes. Après avoir défini ce qu'est une PME mécanicienne, une typologie sera proposée pour les classer. Il en ressortira les spécificités des PME en termes de besoins en PLM.

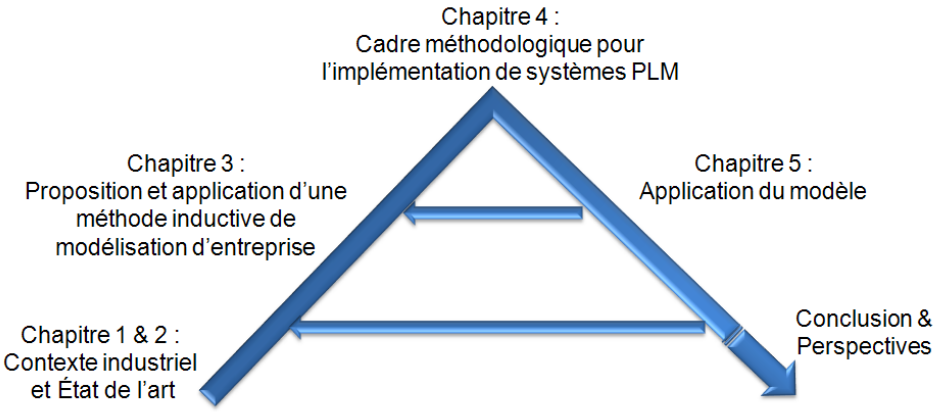


Figure 0-2: Plan du manuscrit

Le **deuxième chapitre** est un état de l'art sur le PLM, sa complémentarité avec les systèmes à base de connaissances (KBS[7]) et les méthodes de modélisation ainsi que les modèles permettant leurs mises en œuvre. Ce chapitre servira de cadre théorique à notre approche. Il en ressortira les avantages et les limites des systèmes PLM ainsi que les outils permettant leur mise en place.

Le **troisième chapitre** propose une méthode de modélisation. Cette méthode sera appliquée à trois entreprises représentatives de la typologie proposée dans le chapitre 1. Pour chacune d'entre elles, nous obtenons un système composé de cartes de besoins, de processus et de modèles de données qui représentent le modèle d'entreprise orienté système d'informations et PLM.

Le **quatrième chapitre** présente la construction d'un cadre de modélisation à partir des trois systèmes obtenus dans le chapitre précédent. Ce cadre comprend un modèle générique des objets d'entreprises qui permet une diffusion en entreprise étendue des données de définition du produit[8] en répondant aux besoins spécifiques des PME mécaniciennes.

L'application de ce cadre sera l'objet du **cinquième chapitre**. Après la présentation d'un démonstrateur logiciel basé sur les principes que nous avons définis, il sera utilisé sur différents cas d'utilisations afin de mesurer son efficacité à répondre aux besoins identifiés.

Enfin une **conclusion** retracera les grandes lignes de ce manuscrit et soulignera les contributions de notre approche à chacune des étapes. Diverses perspectives, aussi bien scientifiques qu'industrielles seront alors proposées.

Le schéma Figure 0-3 reprend le déroulement du manuscrit et les livrables associés à chaque chapitre.

[7] Knowledge Based System

[8] Par abus de langage, nous parlerons dans la suite de ce manuscrit de « données produit » pour évoquer les données de définition du produit.

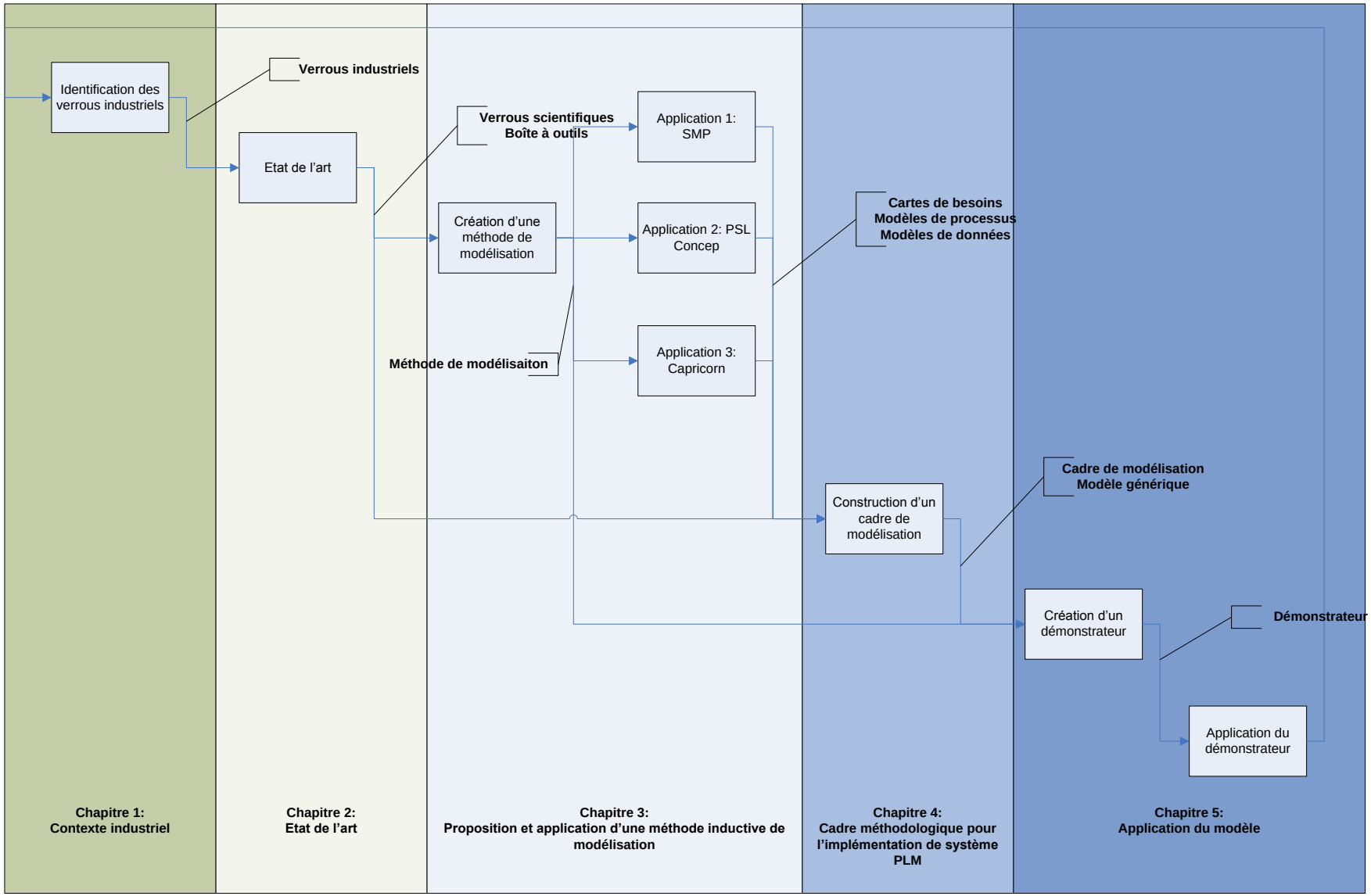


Figure 0-3: Schéma général de la thèse

Contexte industriel

1. Contexte industriel

Du fait de la mondialisation, les entreprises sont dans l'obligation de travailler avec des réseaux de plus en plus diversifiés et dispersés géographiquement. Afin de permettre cela tout en continuant à optimiser le triptyque coût/conformité/délai, les entreprises ont dû mettre en place des moyens de communication et d'échanges d'informations de plus en plus performants.

Les entreprises de la mécanique ne font pas exception à la règle et doivent s'adapter à ce nouveau contexte. Une particularité tout de même, il s'agit de la part importante des petites et moyennes entreprises dans ce secteur. Ces entreprises, bien que plus flexibles, sont en difficulté face aux nouvelles formes d'échanges et de partages d'informations qui leurs sont offertes.

Ce chapitre commence par caractériser les entreprises qui nous intéressent, à savoir les PME mécaniciennes. Puis sera proposé une analyse de PME ayant implémenté un système PLM et les principales difficultés rencontrées par ces PME. Puis une typologie sera proposée permettant de classifier ces entreprises en trois types distincts. Enfin, nous conclurons sur une synthèse des verrous industriels à lever.

1.1 Les PME mécaniciennes

La spécificité des PME face aux grandes entreprises, exception faite de la différence de taille, peut faire débat. Julien dans [JUL 94] définit les spécificités des PME par une taille petite, une centralisation de la gestion, une faible spécialisation, une stratégie intuitive ou peu formalisée et des systèmes d'informations peu complexes. Mais selon d'autres auteurs, tel Kraaijenbrink [KRA 06], la taille des PME n'est pas la cause de leur spécificité, elle diminue simplement leurs ressources et leurs possibilités d'économies d'échelles. Nous préférons nous reporter à la législation pour définir ce qu'est une PME. En France, une PME est une entreprise indépendante[9] de 10 à 250 salariés dont le chiffre d'affaires annuel n'excède pas 50 M€ ou dont le bilan annuel n'excède pas 43 M€[10].

Les PME représentent 92% des entreprises et emploient plus des deux tiers des salariés en France. Les PME mécaniciennes sont partout dans l'industrie, exerçant dans des domaines aussi variés que l'aéronautique, le médical, l'automobile, l'horlogerie…

[9] Sont considérées comme indépendantes les entreprises qui ne sont pas têtes de groupe ou filiales (soit les entreprises dont la participation dans le capital par un groupe dépasse 50 %) d'un groupe français ou étranger.
[10] Site du ministère de l'économie, de l'industrie et de l'emploi dédié aux PME, http://www.pme.gouv.fr/, consulté le 19/02/2010.

Le Cetim classifie les entreprises mécaniciennes en 37 professions (Tableau 1-1) parmi lesquelles se trouvent les machines spéciales, les transmissions mécaniques ou encore la forge.

Matériels Frigorifiques	**Mécanique Industrielle**	**Emballage**
Matériel de Bureau	**Outillage pour machine**	**Machines spéciales**
Soudage	**Fixations**	**Articles culinaires**
Machines Agricoles	**Forge**	**Découpage Emboutissage**
Matériels de Manutention Levage	**Outillage à main et électroportatif**	**Mobilier**
Matériels de Travaux Publics, Forage	**Revêtements et Traitements de Surface**	**Quincaillerie**
Chaudronnerie	**Traitements Thermiques**	**Ressorts**
Moteurs et Compresseurs	**Fours**	**Conduits de fumées**
Pompes	**Dispositifs médicaux**	**Roulements**
Robinetterie	**Matériels Alimentaires**	**Transmissions Hydrauliques**
Mesure-pesage	**Matériels Textiles**	**Transmissions Mécaniques**
Machines Outils et Productique	**Matériels Imprimerie**	**Transmissions Pneumatiques**
Mouliste		

Tableau 1-1: Professions de la mécanique

Les PME mécaniciennes sont très diversifiées. Elles ont néanmoins comme point commun d'intervenir pour la plupart pour des donneurs d'ordres en tant que fournisseur, que ce soit fournisseurs de pièces, de machine-outil, de sous-assemblages… Elles échangent avec plusieurs donneurs d'ordres à la fois et font ainsi partie de plusieurs entreprises étendues en même temps.

Une entreprise étendue est la réunion de plusieurs entreprises, clients et fournisseurs, en vue de gérer de manière holistique le groupe d'entreprises sur un projet particulier, telle la conception ou la fabrication de produit (Figure 1-1). Le but d'une telle organisation est de profiter des meilleures compétences, de mutualiser les ressources et de répartir les coûts et les risques [BRO 99].

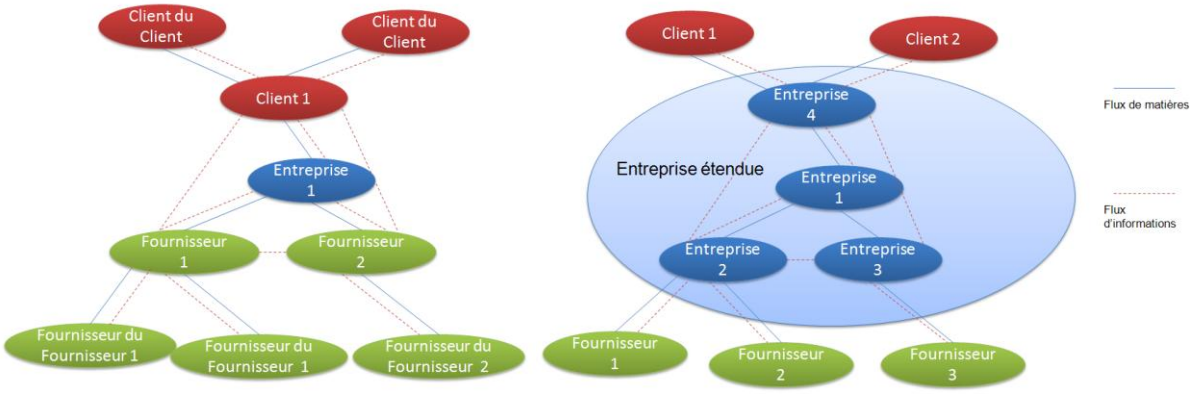


Figure 1-1: Entreprise étendue

Afin d'obtenir la meilleure combinaison de ressources et de compétences, les entreprises d'une entreprise étendue peuvent être géographiquement dispersées. Cela nécessite alors la mise en place de systèmes de collaboration et de transfert d'informations évolués. L'utilisation récente et massive des TIC[11] en entreprise favorise ces échanges. Certaines entreprises étendues n'échangent que des informations et pas de matière, comme pour un projet de conception par exemple, on parlera alors d'entreprise virtuelle [ETT 92].

Les PME doivent échanger de plus en plus vite avec leurs clients et fournisseurs mais aussi avec leurs collaborateurs. Les entreprises échangent des objets intermédiaires de conception et de fabrication afin de parvenir à créer et produire un produit. Chaque intervenant, quelle que soit son entreprise, complète ces objets avant de les mettre à disposition ou de les renvoyer vers d'autres collaborateurs. Ainsi, qu'il s'agisse d'un objet virtuel tel un modèle CAO[12], ou d'un objet réel telle une pièce de métal, le fonctionnement reste le même, chaque intervenant effectue sa tâche avant de passer l'objet à l'intervenant suivant, que ce dernier soit interne ou externe à l'entreprise.

Un des points fondamentaux de l'entreprise étendue est de permettre l'ingénierie concourante afin de raccourcir le cycle de développement d'un produit. Il faut alors permettre à plusieurs collaborateurs de travailler sur des objets différents en même temps alors que ces objets possèdent des liens entre eux. De plus il faut s'assurer que les informations qu'ils contiennent ont une maturité suffisante pour éviter les retours en arrière qui restent pénalisant en coût et délai (Figure 1-2).

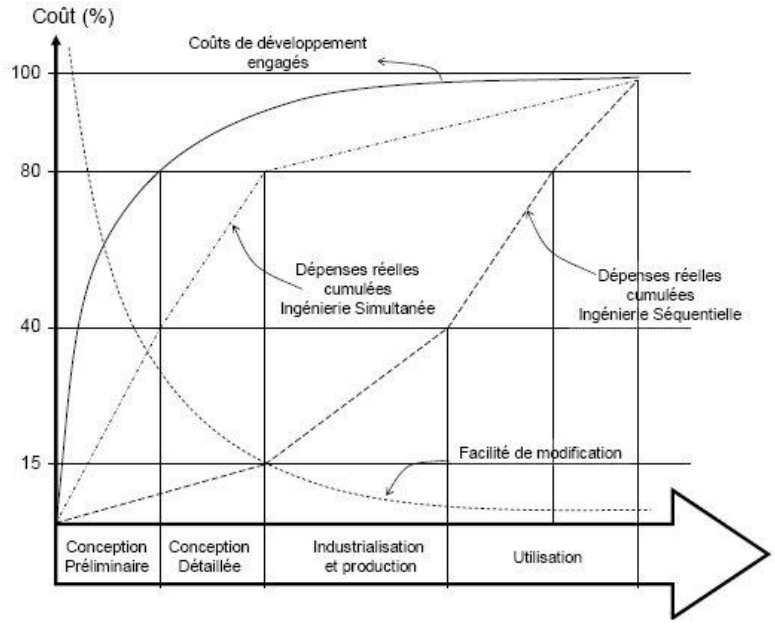


Figure 1-2: Influence des modifications sur les couts [DEC 98]

[11] Technologie de l'Information et de la Communication

[12] Conception Assistée par Ordinateur

Aujourd'hui cette ingénierie concourante en entreprise étendue pourrait être plus poussée. Lorsqu'une PME est intégrée à une entreprise étendue, il s'agit le plus souvent d'une action à effectuer à la manière de l'ingénierie séquentielle. Le donneur d'ordre envoie le travail à effectuer et le récupère lorsque la PME a terminé. Un changement dans le cahier des charges et c'est une nouvelle version de son travail que la PME doit fournir. De nombreux systèmes logiciels, dont les outils PLM, sont utilisés pour améliorer la résolution de ces problématiques.

1.2 Le paradigme PLM chez les PME

Le Cetim lance en 2007 une enquête auprès des entreprises de la mécanique sur le thème de l'ingénierie numérique et du travail collaboratif [CET 07a]. Cette enquête révèle que seules 3% des PME utilisent un système de type PLM pour gérer leurs données techniques (Tableau 1-2). Balocco fait le même constat pour les PME italiennes où seules 2% d'entre elles utilisent un logiciel PLM [BAL 06].

Comment gérez-vous vos données techniques?	%
Sur un disque réseau partagé	75 %
Sur un PC local	32 %
Sur un logiciel PLM	3 %

Tableau 1-2: Enquête Ingénierie Numérique [CET 07a]

Or, une seconde enquête [CET 07b] montre que plus de 70% de ces mêmes PME de l'industrie mécanique considèrent comme important le partage d'informations en interne et en externe, le suivi et la réutilisation des projets, le suivi des modifications, le stockage sécurisé des informations, la validation électronique, la mise à jour permanente des documents et la gestion des nomenclatures depuis l'ERP[13] (Figure 1-3). La plupart de ces fonctionnalités sont présentes dans les logiciels PLM.

Il est à remarquer que le partage en interne est la fonction la moins demandée. Cela peut s'expliquer par la petite taille des entreprises interrogées (des PME mécaniciennes) qui facilite grandement l'échange en interne. Le disque réseau partagé suffit alors à un premier niveau d'échange interne. Cela a pour effet de diminuer l'intérêt d'utiliser des logiciels PLM pour ce type de partage.

[13] Enterprise Resource Planning

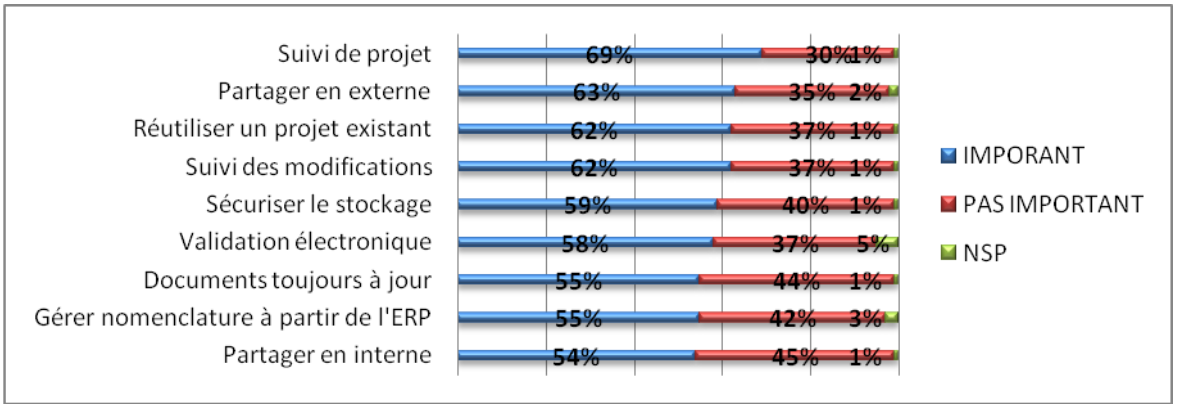


Figure 1-3: Enquête de besoins [CET 07b]

Depuis 2007, l'intérêt porté par les entreprises aux systèmes PLM ne cesse de croître. L'investissement mondial dans les systèmes PLM et leurs supports informatiques a bondi de 18 milliard de dollars en 2006 à 24,3 milliard en 2007. Même aujourd'hui avec la crise, le marché du PLM reste en constante augmentation avec un marché de près de 30 milliard selon une estimation de CimData à la fin 2008 [CIM 07].

Certaines PME passent le cap et installent un système PLM. C'est tout à fait probant dans une étude récente de [TER 09] où 35 entreprises sur les 37 interrogées travaillent sur les problématiques du PLM. Cette enquête étudie trois niveaux de maturité du PLM : le passage de la 2D à la 3D pour la CAO, l'introduction du PLM et l'évolution du PLM vers des fonctionnalités avancées.

L'implantation d'un PLM se fait en trois étapes, comme de nombreux systèmes d'informations:

- Une phase de **définition du projet** : le maitre d'œuvre définit les besoins, établit le cahier des charges et l'équipe projet.
- Une phase de **sélection de la solution** : les éditeurs sont mis à contribution pour prouver que leur outil répond le mieux aux exigences du maitre d'œuvre.
- Et une phase d'**implémentation** : la solution est installée, le personnel est formé, on applique une stratégie de diffusion (large fonctionnalité, peu d'utilisateurs puis de plus en plus d'utilisateurs ou peu de fonctionnalités, beaucoup d'utilisateurs puis de plus en plus de fonctionnalités).

Parmi les entreprises ayant implémenté un système PLM, une seconde enquête sur 40 entreprises de la région Rhône Alpes [ELK 09] révèle que seulement 7% l'ont fait sur demande d'un client, alors que dans 66% des cas, cela résulte d'une stratégie interne. L'étude de Terzi détaille les départements internes qui sont à l'origine du projet (Tableau 1-3). Si le bureau d'étude est le meneur dans les implémentations aux fonctionnalités les plus simples (50%), la direction devient prédominante pour l'implémentation de fonctionnalités avancées (33%).

Origine du besoin	2D ➔ 3D	Introduction du cPDM[14]	Évolution du cPDM
Dpt Technique	50%	50%	16,7%
Dpt Informatique		13,6%	11,1%
Dpt Marketing	16,7%	9,1%	5,6%
Autre Dpt	16,7%	9,1%	22,2%
Direction		4,5%	33,3%
N/A	16,7%	13,6%	11,1%

Tableau 1-3: Lieux d'origine du besoin [TER 09]

Les attentes du maitre d'œuvre sont principalement le contrôle des processus et la capitalisation des connaissances (Figure 1-4).

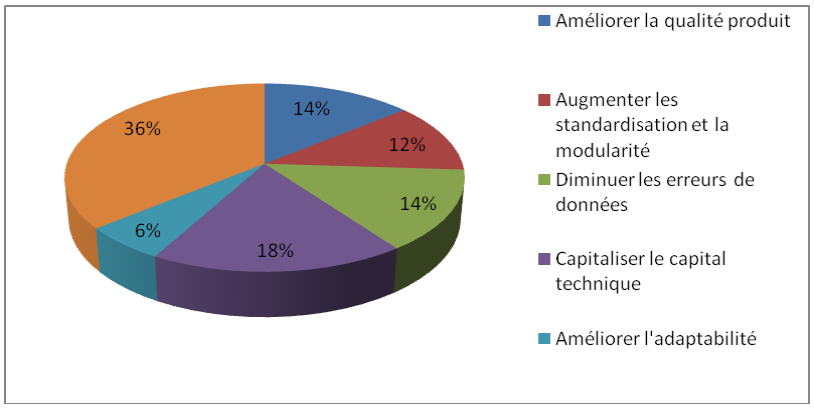


Figure 1-4: Attentes du maître d'œuvre [ELK 09]

En termes d'interopérabilité, les principaux liens demandés sont relatifs aux échanges et interfaçages entre le système PLM et les systèmes de CAO (35%) et entre le système PLM et les systèmes d'ERP (25%) (Figure 1-5).

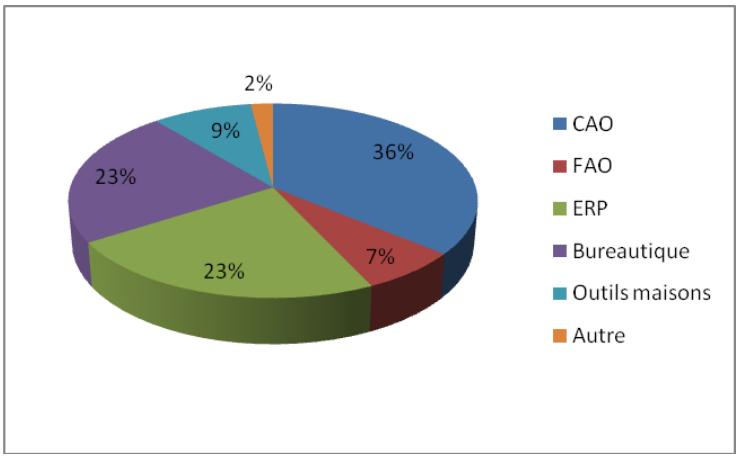


Figure 1-5: Systèmes demandeurs d'interopérabilité [ELK 09]

[14] Collaborative Product Data Management

La sélection du système se fait principalement sur des critères techniques (46%), parmi lesquels on retrouve l'ergonomie, l'interopérabilité et la simplicité d'utilisation.

Enfin lors de la phase d'implémentation, les principales difficultés rencontrées concernent la définition du modèle de données et la modélisation des processus (Figure 1-6). Ceci peut s'expliquer par le fait que le maitre d'ouvrage n'a pas les informations nécessaires pour mener à bien ce travail sans l'intervention de l'entreprise.

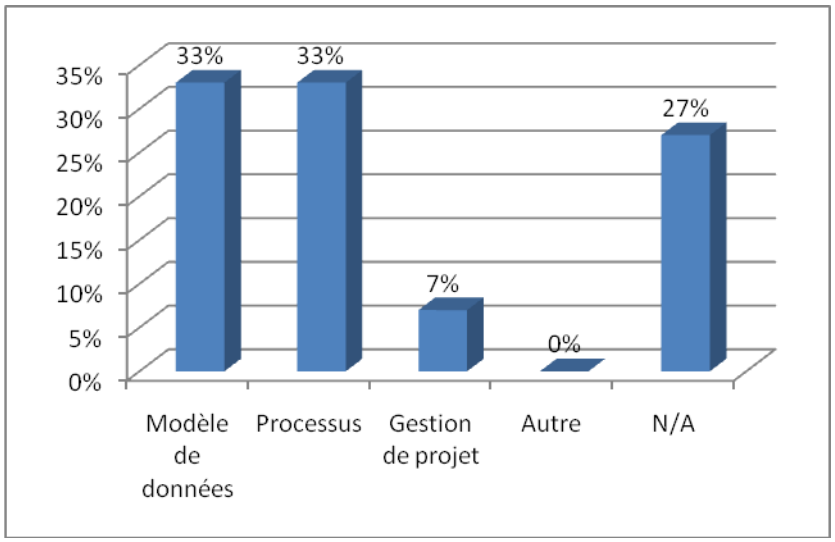


Figure 1-6: Principaux problèmes rencontrés [ELK 09]

L'enquête sur les entreprises de Rhône Alpes conclut que les principales difficultés sont la modélisation produit/processus/organisation et l'interopérabilité du système avec l'ERP et la CAO. Elle préconise la mise en place de méthodes facilitant l'implémentation du PLM et son interopérabilité.

1.3 Typologie des PME mécaniciennes

Du fait de la grande diversité des PME mécaniciennes, ce paragraphe propose une typologie pour classer ces entreprises selon des critères correspondant à la problématique de gestion d'informations en entreprise étendue. Les principales informations techniques liées au développement d'un produit se retrouvent soit dans les nomenclatures de produits, soit dans leurs gammes de fabrication. L'utilisation prédominante de l'une ou de l'autre dépend du nombre de composants par produits. En effet les entreprises dont les produits ont un grand nombre de composants vont travailler sur l'assemblage de sous-ensembles. Les informations produit sont alors contenues pour une grande partie dans les nomenclatures du produit. Pour les entreprises produisant des produits avec un faible nombre de composants, les informations produit sont plutôt à rechercher dans la gamme de fabrication des pièces. Les nomenclatures

n'ont que peu d'intérêts pour ces entreprises dont la valeur ajoutée se situe majoritairement dans la fabrication des pièces.

Ainsi la typologie proposée prend comme axe de différenciation le nombre de composants par produit. Les différentes entreprises sont alors regroupées selon le nombre de composants existants dans les produits qu'elles conçoivent et réalisent. Ce critère permet d'obtenir des besoins en termes de PLM relativement disjoints selon le type d'entreprise, bien plus que d'autres critères comme le secteur d'activité, le nombre de clients ou encore les tailles de lots. Seules les entreprises ayant une gamme de produits très diversifiés, vendant à la fois des produits complexes et des pièces primaires ne seront pas d'un unique type dans notre typologie, or ce type d'entreprise est peu fréquent et sera de toute manière couvert par le système générique qui répondra aux besoins des différents types d'entreprise.

En classant les entreprises par nombre de composants par produits, trois types d'entreprises sont obtenus (Figure 1-7).

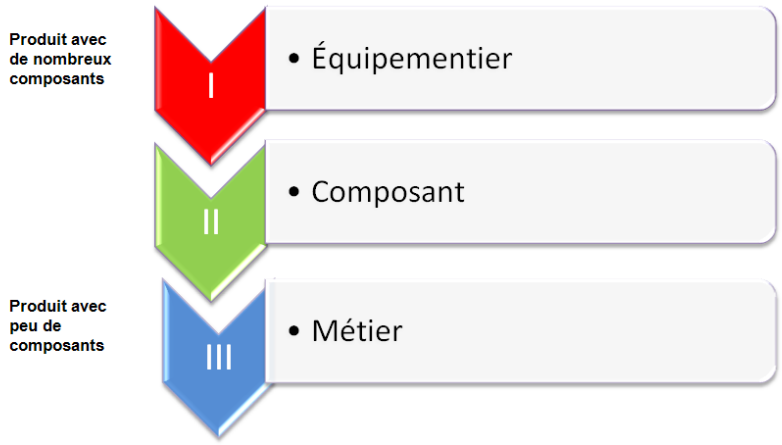


Figure 1-7: Typologie des PME mécaniciennes

- Les entreprises de type **équipementier** sont les entreprises dont les produits ont un grand nombre de composants. Ces entreprises fabriquent des machines spéciales, des machines agricoles, du matériel de manutention et de levage… Elles ont des problématiques de gestion des nomenclatures et de traçabilité bien connue des systèmes PLM car elles correspondent aux besoins des grands groupes des secteurs automobile et aéronautique qui ont initié le développement de ces logiciels. Les solutions à mettre en place restent plus légères et moins complexes que les solutions des grands groupes.

- Les entreprises de type **composant** sont les entreprises dont les produits ont un nombre moyen de composants. Ces entreprises fabriquent des moteurs et des compresseurs, des transmissions (hydrauliques, mécaniques ou pneumatiques), de

l'outillage pour machine… Elles ont des besoins variés qui vont de l'analyse du besoin client à la fabrication en passant par la définition du produit.

- Enfin les entreprises de type **métier** ont un nombre de composants réduit dans leurs produits. Elles fabriquent principalement des pièces primaires. On retrouve donc les entreprises de forge, de fonderie, de mécanique industrielle, de découpage-emboutissage, de soudage… Ces entreprises ont pour principal problème la gestion de leurs gammes de fabrication qui ne s'intègre pas au fonctionnement des systèmes PLM actuels.

Les phases ciblées du cycle de vie du produit sont celles du développement produit, allant de la définition du besoin à l'industrialisation du produit. Les phases de distribution, de maintenance ou de fin de vie ne sont pas directement prises en compte dans ce contexte car les PME mécaniciennes n'ont pas exprimé le souhait d'aller vers ces problématiques. Elles préfèrent donc se focaliser sur le développement produit qu'elles ont elles-mêmes à gérer. Il peut y avoir des avantages en coût, qualité et délai à incorporer également ces phases du cycle de vie, mais il est nécessaire d'avoir au préalable maîtrisé les phases du développement produit.

Nous reviendrons sur les besoins de chaque type d'entreprise dans le chapitre 3 par une analyse détaillée d'une entreprise de chacun des types.

Le Tableau 1-4 présente les professions de la mécanique classées selon la typologie proposée.

Type équipementier	Type composant	Type métier
Matériels Alimentaires	Moteurs et Compresseurs	Mécanique Industrielle
Matériels Textiles	Articles culinaires	Forge
Matériels Imprimerie	Fixations	Soudage
Machines Agricoles	Roulements	Découpage Emboutissage
Matériels de Manutention Levage	Transmissions Hydrauliques	Revêtements et Traitements de Surface
Matériels de Travaux Publics, Forage	Transmissions Mécaniques	Traitements Thermiques
Chaudronnerie	Transmissions Pneumatiques	Ressorts
Machines Outils et Productique	Fours	Conduits de fumées
Mouliste	Dispositifs médicaux	
Machines spéciales	Mesure-pesage	
Outillage pour machine	Pompes	
Outillage à main et électroportatif	Robinetterie	
	Emballage	
	Mobilier	
	Quincaillerie	
	Matériels Frigorifiques	
	Matériel de Bureau	

Tableau 1-4: Professions de la mécanique selon la typologie

Trois entreprises, une de chaque type, vont permettre de définir un état initial des besoins en gestion d'informations techniques et un état objectif à atteindre afin de pouvoir, au terme de ces travaux, évaluer notre position par rapport à la cible et estimer le chemin accompli.

1.4 Les verrous industriels à lever

Les PME mécaniciennes sont très diversifiées. Elles ont néanmoins toutes besoin d'échanges d'informations et de connaissances, aussi bien en interne qu'en externe avec leurs partenaires, leurs clients et leurs fournisseurs.

Les systèmes PLM offrent des solutions à ce type de problème. Cependant les PME ne les utilisent que très peu. Les principaux problèmes remontés par les enquêtes de terrain sont les difficultés de modélisation des processus et des données et l'interopérabilité de ces modèles avec les autres systèmes d'informations. Il y a également une différence entre les besoins des entreprises de type équipementier, celles de type composant et celle de type métier.

Il ressort de l'analyse des besoins de PME vis à vis du PLM trois points à aborder avec soin:

- **Problème d'adéquation des fonctionnalités avec les besoins :** Les fonctionnalités des PLM actuels découlent des besoins des donneurs d'ordres de type assembleur du domaine de l'automobile et de l'aéronautique. Or, leurs prérogatives et leurs usages diffèrent de ceux des PME ressortissantes du Cetim. Dans le meilleur des cas, ces exigences ne recouvrent qu'un type d'entreprise sur les trois identifiées dans notre typologie.

- **Difficulté de modélisation des processus et des données d'entreprise:** La modélisation des processus est une source de problème pour les PME. Elles n'ont pas formalisé leurs processus actuels et ne savent pas forcément quels processus mettre en place. Le lien entre stratégie, besoins et processus n'est pas présent de manière explicite. De manière plus pragmatique la modélisation des données et du système d'informations (première étape à la modélisation d'entreprise) est une compétence qui n'est pas présente au sein des PME, compétences que des grands groupes peuvent obtenir auprès de leur service « systèmes d'informations ». Il est alors impératif d'implanter le modèle de données adéquat lors de l'installation du logiciel par les consultants sous peine de garder un modèle non adapté. Le modèle de données est indispensable au bon déroulement des processus souhaités.

- **Manque d'interopérabilité avec les autres systèmes d'informations :** La principale interopérabilité exigée concerne les échanges avec le système d'informations interne. Il s'agit principalement de lier le PLM, la CAO et l'ERP. Dans le cadre d'activité d'entreprise étendue, une interopérabilité avec les systèmes PLM du réseau d'entreprises partenaires est également nécessaire. Là encore, les compétences internes ne sont pas présentes chez les PME alors qu'elles existent chez les grands groupes.

Afin de proposer un système adapté et de lever les verrous identifiés, le chapitre suivant va explorer les travaux concernant le PLM et les différents modèles et méthodes de modélisation utilisés sur ce sujet dans la littérature.

État de l’art

2. État de l'art

Dans la première partie de ce chapitre, nous allons étudier le paradigme PLM et les systèmes d'informations support afin de comprendre le paradigme PLM et ce qu'offrent en terme de fonctionnalités les logiciels actuels. Pour suivre les besoins des PME mécaniciennes et aller vers plus de fonctionnalités métiers, nous explorerons également la voie des systèmes à base de connaissances (KBS[15]) qui visent à informatiser les tâches métiers des différentes étapes du cycle de vie du produit et peuvent s'intégrer aux systèmes PLM (Figure 2-1).

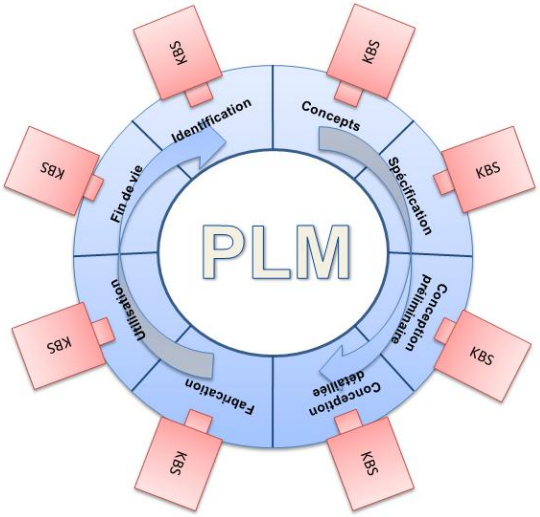


Figure 2-1: Intégration des KBS dans le PLM

Ces deux types de systèmes reposent sur des modèles de données et de processus qui permettent d'obtenir les cases nécessaires à l'encapsulation des informations produit, à leurs structurations et à leurs évolutions. La création de ces modèles est une difficulté pour les PME mécaniciennes. La deuxième partie de ce chapitre sera donc consacrée à la recherche d'outils pour répondre à notre problématique via l'étude des langages, des méthodes de modélisation et des modèles support aux systèmes d'informations orientés PLM.

Enfin, l'interopérabilité des systèmes PLM avec les autres systèmes d'informations est le dernier verrou industriel identifié. Afin de pouvoir introduire ces systèmes dans un contexte d'entreprise étendue, les concepts d'interopérabilité seront donc étudiés.

[15] Knowledge Based System

2.1 Product Lifecycle Management

2.1.1 Le paradigme PLM

Le PLM est avant tout une stratégie d'entreprise. Il s'agit de gérer toutes les informations relatives à un produit, sur l'ensemble de son cycle de vie, et ce pour la totalité des acteurs internes et externes impliqués dans sa création.

CimData [CIM 03] définit le PLM comme: "*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 system, and information*".

Le PLM englobe ainsi la définition du produit mais également la définition des moyens de production, des services liés au produit, (services durant son utilisation mais également services de maintenance, de traitement en fin de vie…), des technologies mises en œuvre, des organisations le concernant…

Dans un contexte de PME mécaniciennes, les moyens de production ne sont pas à redéfinir avec la création d'un nouveau produit. Les PME doivent fabriquer ce nouveau produit avec les moyens existants, à la différence des grands groupes des secteurs automobile ou aéronautique où une nouvelle chaine de production est parfois créée pour la production d'un nouveau produit. Nous nous focaliserons donc pour la suite de cet état de l'art sur la gestion du cycle de vie produit uniquement.

Deux cycles de vie du produit sont à différencier selon la littérature, le cycle de vie du produit réel et le cycle de vie du produit virtuel.

Le cycle de vie du produit réel traduit la vie physique de l'objet (Figure 2-2). Il démarre avec l'extraction (ou la réutilisation) de la matière, puis la fabrication du produit, son utilisation et sa fin de vie. Un cycle s'achève lorsque le produit est détruit. Le bouclage vient de la réutilisation de matières recyclées. Ce cycle de vie est très utilisé comme base aux analyses de cycle de vie produit cherchant à identifier les impacts (entre autre environnementaux) de chacune des phases. Il est alors possible d'aborder des démarches éco-responsables vis à vis des choix relatifs à la définition du produit, de son processus de réalisation ou aux aspects de formation ou d'information pour son usage et son orientation en fin de vie.

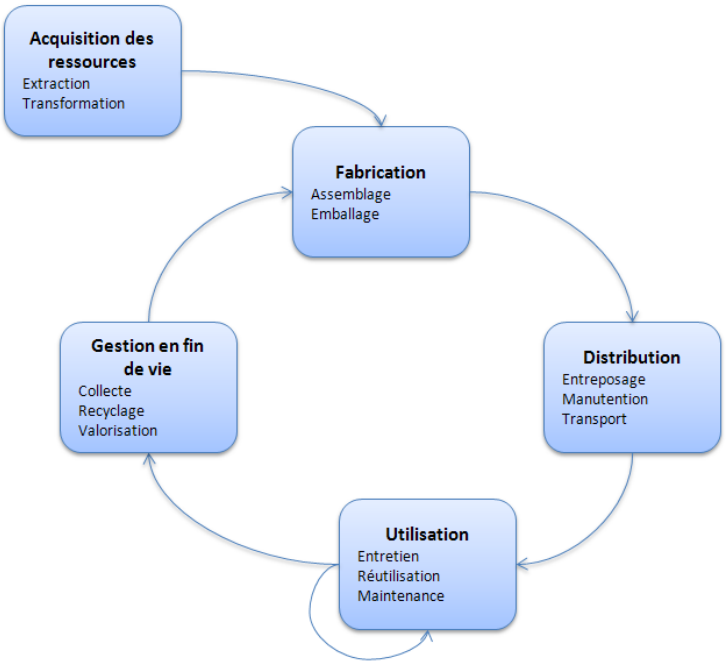


Figure 2-2: Cycle de vie du produit réel

Le second cycle de vie est celui du produit virtuel (Figure 2-3). Il démarre avec une idée générée par une identification d'un besoin client. S'en suit la phase de recherche de concepts et de choix d'architectures de solutions, puis de conception détaillée. Après l'étape d'industrialisation, la phase de production concrétise l'idée qui va permettre d'atteindre enfin le client. Les étapes d'usage et de fin de vie sont aussi à prendre en compte, principalement pour assurer un bouclage via les retours client de par leur l'utilisation et l'expression de nouveaux besoins complémentaires. Le découpage des phases est celui de GERAM [GER 99], que nous détaillerons en 2.3.3.

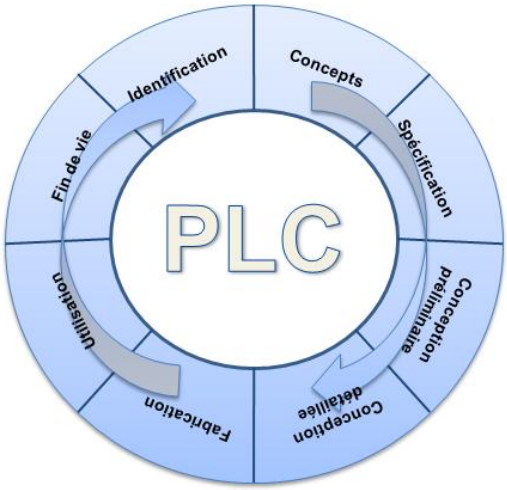


Figure 2-3: Cycle de vie du produit virtuel

Terzi [TER 05] définit le PLM comme : "*an integrated, ICT supported, approach to the cooperative management of all product related data along the various phases of the product lifecycle".*

Les définitions actuelles du PLM se concentrent sur les données produit, mais n'incluent pas la notion de gestion des processus. Pour remédier à cela nous proposons la définition du PLM suivante qui n'est plus centrée sur les données produit mais sur les activités :

> ***Définition PLM*** *: Le PLM est une stratégie d'entreprise visant la gestion collaborative des activités centrées sur le produit durant l'ensemble de son cycle de vie à travers l'entreprise étendue.*

Le PLM est soutenu par des systèmes d'informations et des logiciels. Il doit permettre la circulation des informations entre les différentes applications métiers (Figure 2-4). L'interopérabilité et la modularité deviennent alors prédominantes pour qu'un maximum d'applications de l'entreprise puissent interagir avec le système PLM [DUT 05].

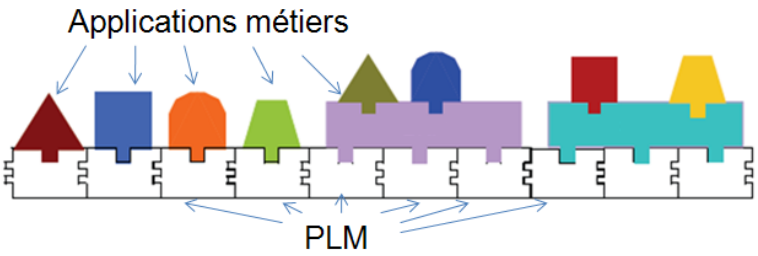


Figure 2-4: Principes du système PLM [DUT 05]

Les systèmes PLM permettent d'encapsuler puis de diffuser les informations nécessaires à la définition du produit. Cela se fait par le biais de ponts entre le système PLM et les autres systèmes d'informations et applications de l'entreprise, tels la CAO, la FAO[16], les logiciels de simulation, l'ERP, le SCM[17] (Figure 2-5)… Il assure ainsi la traçabilité de l'information, son archivage et sa réutilisation.

[16] Fabrication Assistée par Ordinateur

[17] Supply Chain Management



Figure 2-5: Système PLM et applications métiers

De nombreux travaux ont été réalisés dans le domaine du PLM spécialement dans le secteur aéronautique. Nous appuierons notre approche principalement sur deux projets européens et un projet national :

- **VIVACE** (Value Improvement through a Virtual Aeronautical Collaborative Enterprise) [VIV 07] fait suite à **ENHANCE** (Enhanced Aeronautical Concurrent Engineering) [BRA 01]. Ce projet européen vise à améliorer l'ingénierie concourante dans l'ensemble de l'entreprise étendue en aéronautique. VIVACE est un projet dans lequel l'ensemble des donneurs d'ordres de l'aéronautique sont impliqués. Il représente peu le point de vue des PME, point de vue différent de celui des grands groupes.

- **SEINE** (Standards pour l'Entreprise Innovante Numérique Étendue) [SEI 08] est un projet de TICPME2010 visant à prouver l'utilité des technologies numériques pour la diffusion des informations techniques dans le système de l'entreprise étendue du domaine de l'aéronautique. Il est piloté par le GIFAS[18]. SEINE propose une plateforme d'échange pour les sous-traitants aéronautiques. Malgré la volonté de fournir un environnement accessible aux PME, les spécifications de cette plateforme se sont faites sur la base des informations demandées par les donneurs d'ordres. Cette approche top down ne nous parait pas suffisante pour exprimer les besoins d'entreprises de rang n-2 et au delà.

L'implémentation de ces outils en entreprises a fait l'objet de nombreux travaux qui soulignent le manque de méthodologie adaptée à cet exercice [EYN 04], [MER 05], [BAC 02], [NGU 06], [SUD 05], [BER 04].

[18] Groupement des Industries Françaises Aéronautiques et Spatiales, http://www.gifas.asso.fr/fr/index.php, consulté le 19/02/2010.

2.1.2 Les outils PLM

De nombreux logiciels proposent des fonctionnalités facilitant une démarche de PLM. Les principaux éditeurs de logiciels sont issus du monde de la CAO :

Dassault Systèmes[19] offre une gamme diversifiée de produits avec Catia V6 PLM, PDMWorks Enterprise, PDMWorks Workgroup, PTC[20] offre Windchill et PDMLink et Siemens[21], TeamCenter. D'autres éditeurs sont eux issus du monde de l'ERP, comme SAP[22] qui propose SAP PLM et Oracle[23] avec Agile. D'autres encore sont issus de l'univers normatif tel EuroSTEP[24] avec Share-a-Space (base PLCS) et ProSTEP[25] avec OpenPDM (base AP214). Enfin il est à noter l'existence d'éditeurs purement PLM, tel Audros de Assetium[26] et Advitium de Lascom[27].

Les systèmes PLM actuels offrent de nombreuses fonctionnalités ; en voici une liste des principales, communes aux différentes solutions :

- **Le coffre fort:** l'ensemble des données et des documents associés sont stockés sur un serveur nommé coffre-fort. Les données sont stockées dans une base de données (objet ou relationnelle). Les informations sont ainsi structurées selon le modèle de données implémenté dans la base de données. Les documents sont quant à eux enregistrés sur le serveur. Lors de l'ouverture d'un document, celui-ci est recopié sur le poste de l'utilisateur de manière plus ou moins temporaire selon les logiciels.

- **La gestion des droits d'accès : pour** accéder aux informations contenues dans le PLM, l'utilisateur doit avoir les droits nécessaires. Selon ses droits il pourra ou non accéder à certaines informations et ses actions pourront être limitées. Deux notions s'ajoutent à celle de droit afin de faciliter cette gestion des droits d'accès pour l'administrateur, il s'agit des rôles et des groupes. Un rôle est un jeu de droits prédéfini que l'administrateur attribue à des utilisateurs. Un groupe est un ensemble d'utilisateurs qui auront les mêmes droits.

- **Les vues :** les vues sont destinées à faciliter la compréhension de l'utilisateur en lui montrant un produit dans son « langage naturel ». C'est-à-dire qu'il doit voir le système produit avec les composants et les liens qui lui sont habituels dans son métier. Dans le domaine de la conception, les travaux de Salau, puis de Blanco décomposent

[19] Site de Dassault Systemes, http://www.3ds.com/fr/, consulté le 19/02/2010.
[20] Site de PTC, http://www.ptc.com/, consulté le 19/02/2010.
[21] Site de Teamcenter Siemens, http://www.plm.automation.siemens.com/en_us/products/teamcenter/, consulté le 19/02/2010.
[22] Site de SAP, http://www.sap.com/france/solutions/business-suite/plm/index.epx, consulté le 19/02/2010.
[23] Site d'Oracle Agile, http://www.oracle.com/agile/index.html, consulté le 19/02/2010.
[24] Site d'EuroSTEP, http://www.eurostep.com/, consulté le 19/02/2010.
[25] Site de ProSTEP, http://www.prostep.com/?L=1, consulté le 19/02/2010.
[26] Site d'Assetium, http://www.assetium.com/, consulté le 19/02/2010.
[27] Site de Lascom, http://www.lascom.com/, consulté le 19/02/2010.

les métiers selon trois vues : la vue fonctionnelle, la vue structurelle et la vue fabrication [SAL 95] [BLA 98]. Les vues sont alors des caches sur les objets et les liens du modèle de données, que l'utilisateur active soit volontairement, soit automatiquement selon son profil. L'un des points les plus problématiques reste de garder la cohérence globale lors des modifications dans différentes vues. D'où des propositions de méthodologies pour assurer cette cohérence, comme par exemple Lombard [LOM 06] avec la proposition d'un méga-modèle ontologique (Figure 2-6).

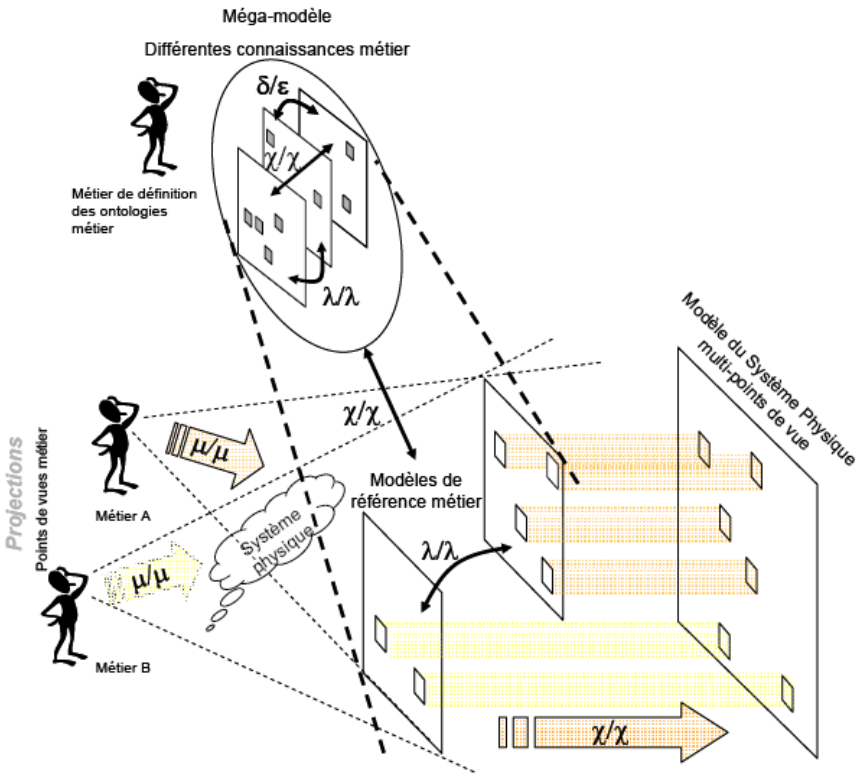


Figure 2-6: Méthodologie pour un méga-modèle ontologique [LOM 06]

- **La visualisation des documents :** un visualiseur permet d'avoir l'image d'un document sans l'ouvrir. Cela permet de voir des documents en format natif sans avoir le programme adéquat sur son poste de travail.

- **La réservation / libération de document :** cette fonction permet la réservation d'un document. L'utilisateur faisant un check out sur un document s'assure que personne d'autre ne pourra le modifier, ce qui évite des conflits de synchronisation. Une fois la modification terminée, l'utilisateur doit faire un check in pour remettre le document à disposition des autres utilisateurs.

- **Le versionnement des documents :** le versionnement des documents permet de garder une trace des différentes versions d'un document. Deux niveaux peuvent être

utilisés pour le versionnement : les versions et les révisions. On les utilise alors pour différencier les modifications mineures des modifications majeures.

- **Les notifications :** une notification est un envoi de message contenant un lien hypertexte vers un document ou une donnée. Les messages peuvent être envoyés automatiquement à un utilisateur s'il en fait la demande, lors des modifications, des validations…, on parle alors d'abonnement.

- **Les workflows :** ces systèmes permettent de simuler des processus en automatisant certaines actions. Ces systèmes sont surtout utilisés pour la gestion de la documentation avec des workflows de processus de validation.

- **Les états :** les états sont associés aux documents. Ils permettent de définir leur niveau de maturité. On retrouve par exemple les états validé, en cours de création, en cours de validation, obsolète…

- **Les web conférences :** les web conférences permettent principalement le partage d'écran, la prise de contrôle à distance du poste de l'interlocuteur et la messagerie instantanée. Elles incorporent également des fonctions de webcam pour voir son interlocuteur ou de VOIP[28] pour pouvoir discuter avec lui.

Le PLM évolue maintenant vers le PLM 2.0. Le terme 2.0 dérive du web 2.0, relatif au web sémantique, qui, de manière simpliste, permet à chaque utilisateur de l'information d'en être acteur, en lui permettant de la critiquer, de l'enrichir, de la corriger. C'est cette même philosophie qui se cache derrière le terme PLM 2.0, permettant à l'ensemble des acteurs d'intervenir sur le développement du produit en enrichissant le débat de son point de vue. Il est à remarquer que le PLM est par essence même 2.0, et que le terme 2.0 peut paraitre plus une astuce marketing qu'une réelle rupture avec le PLM « classique ». Les contours du PLM 2.0 sont encore assez flous, mais nous pouvons nous appuyer sur les succès du web 2.0 pour en imaginer des exemples pour le PLM 2.0. Il nous reste aujourd'hui à imaginer quels seront les équivalents de ces fonctions pour le PLM 2.0. On citera par exemple:

- **Les blogs :** Un blog ou blogue (agrégation de web log) est un site web constitué par la réunion de billets écrits par un particulier, et classés la plupart du temps par ordre antéchronologique.

  Une application possible au PLM est l'utilisation d'un blog comme **portail d'entrée** du PLM. Il permettrait de diffuser les informations tout en donnant la possibilité aux utilisateurs de réagir sur les informations données.

- **Les liens RSS[29] :** Ce standard est basé sur le langage XML[30] et est utilisé pour obtenir les mises à jour d'informations qui changent fréquemment. Pour les recevoir,

[28] Voice Over IP
[29] Really Simple Syndication
[30] Extensible Markup Language

l'utilisateur doit s'abonner aux flux, ce qui lui permet de consulter rapidement les dernières mises à jour, à l'aide d'un agrégateur, sans avoir à se rendre sur le site.

Les flux RSS trouveront sûrement leurs places dans les outils PLM afin de remplacer les **abonnements**, surchargeant souvent les boites mail des utilisateurs.

- **Les réseaux sociaux :** Le réseau social est une catégorie d'application Internet qui aide à relier des amis, des associés, ou d'autres individus ayant un lien quelconque.

  Les réseaux sociaux sont peut être l'avenir de la **gestion d'équipe projet.** Ils permettraient de former les équipes selon différents critères tels les compétences, l'habitude de travailler ensemble, l'emplacement géographique des utilisateurs…

Les outils actuels sont principalement des outils de gestion documentaire et de communication. La possibilité d'automatiser ou de gérer les informations des processus plus spécifiques au métier de l'entreprise ne fait pas partie des fonctionnalités des logiciels d'aujourd'hui.

2.1.3 Conclusion sur le PLM

On remarquera que la majorité des travaux effectués autour du PLM sont relatifs à des grandes entreprises, très souvent des assembleurs de l'automobile ou de l'aéronautique. Les approches descendantes alors mises en place pour intégrer les PME ne prennent en compte que les demandes des donneurs d'ordres. Une approche ascendante, de type inductive nous parait plus appropriée pour connaitre les besoins d'entreprises de rang inférieur dans la constellation d'entreprises dont font partie des PME mécaniciennes.

Les PME recherchent des fonctionnalités avancées alors que les outils offrent des fonctionnalités plus proches de la gestion documentaire que de l'activité métier. Ces fonctionnalités sont nécessaires mais non suffisantes pour l'appropriation de ces outils par les PME mécaniciennes. Les fonctionnalités de demain, évoquées au travers du PLM 2.0, ne semblent pas aller vers une spécialisation métier, mais vers une collaboration plus poussée.

Une solution envisageable pour spécialiser les fonctions classiques du PLM vers des fonctionnalités avancées est l'utilisation de KBS connectés au système PLM. Les informations encapsulées dans les systèmes à bases de connaissances sont spécifiques à la tâche automatisée et donc proches du métier de l'entreprise. Ces informations peuvent ensuite être consolidées au niveau du PLM pour être exploitées par d'autres applications.

2.2 Les systèmes à base de connaissances

2.2.1 Définitions

Avant d'aller plus avant dans les KBS, les concepts clés qui sont manipulés sont à définir:

- **Donnée** : une donnée est le reflet symbolique de nombres, quantités, grandeurs ou faits [WEG 97].
- **Information** : l'information est une donnée placée dans un contexte [KEM 99].
- **Connaissances** : les connaissances sont de l'information qui prend un (ou plusieurs) sens dans un (ou plusieurs) contexte(s) à travers les acteurs de l'entreprise [ERM 00].
- **Compétence** : la compétence est la capacité et l'habileté à exploiter des connaissances et des ressources pour exercer une activité dans un contexte contraint donné et atteindre un objectif [LAB 04].

La Figure 2-7 propose un schéma de synthèse proposé par Gardonni [GAR 99].

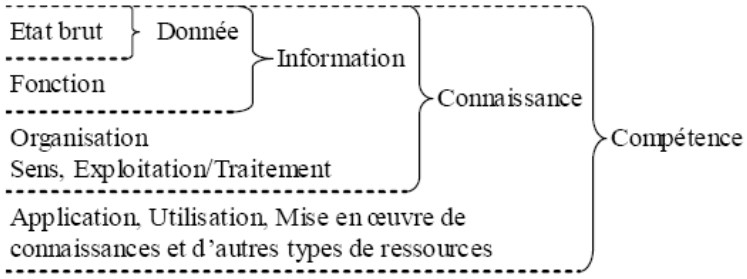


Figure 2-7: Lien entre donnée, information, connaissance et compétence [GAR 99]

La gestion de la connaissance est aujourd'hui un enjeu majeur des entreprises. Si cette gestion fut de tout temps implicite, elle devient aujourd'hui une démarche volontaire.

Ammar Khoja définit le KM[31] comme: *"a systematic, organized, explicit, and deliberate ongoing process of creating, disseminating, applying, renewing and updating the knowledge for achieving organizational objectives"* [AMM 08].

La gestion de la connaissance dans le domaine du développement produit regroupe à la fois la gestion des connaissances du produit et des connaissances métiers qui interviennent tout au long du cycle de vie du produit.

[31] Knowledge Management

On distinguera deux phases dans les approches de KM : la phase d'extraction et de capitalisation, et la phase de structuration et d'intégration. Différentes méthodes visent donc à construire des KBS, d'une part en extrayant et en capitalisant les connaissances, d'autre part en les structurant et en les intégrant.

2.2.2 Les méthodes de KBS

De nombreuses méthodes ont vu le jour en ce qui concerne la création de KBS. Parmi les méthodes les plus connues, citons :

- **MKSM** (Methodology for Knowledge System Management) et **MASK** (Method for Analysing and Structuring Knowledge) [MER 03] visent à maitriser la complexité dans les projets de gestion des connaissances.

- **CommonKAD** (Knowledge Acquisition and Design System) [SCH 99] et **MOKA** (Methodology and tools Oriented to Knowledge engineering Applications) [MIL 07] proposent une méthode de formalisation des connaissances en vue du développement de KBS. MOKA se décompose en une phase informelle utilisant les fiches ICARE (Illustration Contrainte Activité Règle et Entité) pour extraire la connaissance. Une seconde phase plus formalisée utilise le langage MML (MOKA Modelling Language, spécialisation d'UML) pour convertir les connaissances dans un langage propice à l'informatisation, avant de les intégrer dans un outil logiciel (Figure 2-8).

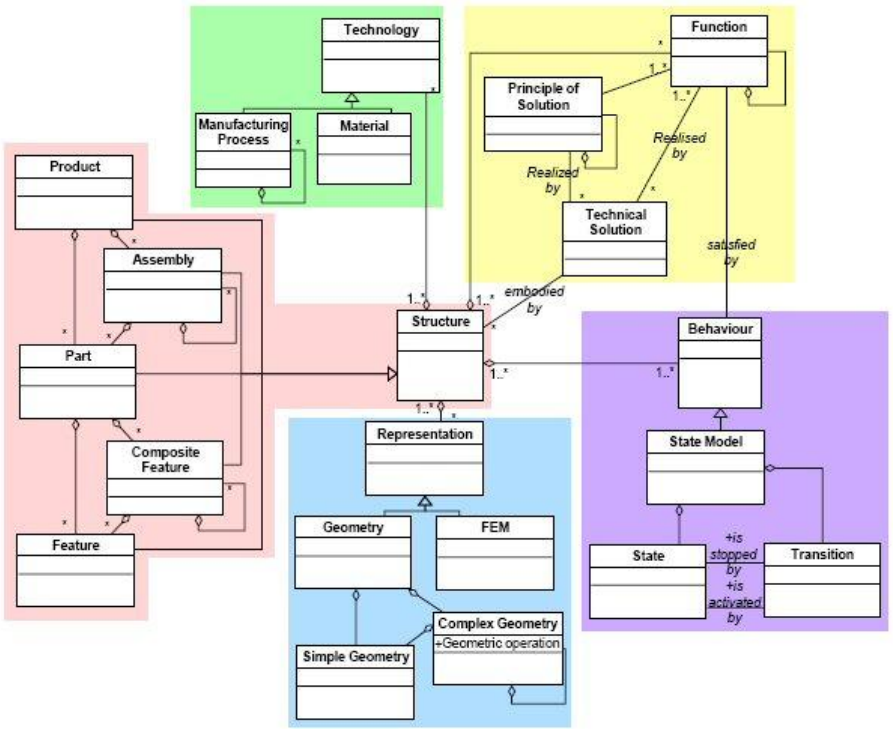


Figure 2-8: Modèle de produit de MOKA [MML 00]

- **CYGMA** (CYcle de vie et Gestion des Métiers et des Applications) [SIM 97] classe les connaissances selon six catégories à partir desquelles elle construit des bréviaires de connaissances métier. CYGMA se situe exactement entre MASK et CommonKADS. Elle a été créée au départ pour faire des systèmes experts dans le domaine de la conception industrielle. L'objectif étant d'écrire les règles de conception industrielle et de les programmer à l'aide de langages tels que la programmation par contraintes ou la programmation logique. La principale difficulté réside dans le recueil des connaissances : les bréviaires métier.

- **REX** (projet Retour d'EXpérience) [MAT 99] a été développé au Commissariat à l'Énergie Atomique. C'est une méthode de recueil de connaissance associé à un système de gestion documentaire. Il est destiné aux industries dont une partie du savoir est détenu par les intervenants et donc non formalisé par écrit. Cette connaissance est volatile et risque de disparaître. REX met en place des recueils de connaissances sous forme d'interviews et structure leur indexation au sein du système de gestion documentaire. REX a pour objectif de capitaliser des expériences vécues par des détenteurs de connaissances. Il n'y a pas de modélisation lors de l'interview. On procède par fiches normées, dites « fiches REX », qui décrivent précisément comment par exemple un problème a été solutionné. Les fiches sont traitées informatiquement : des réseaux de concepts sont créés pour retrouver les éléments de connaissance recueillis.

Ces méthodes permettent d'extraire et de structurer les informations nécessaires à l'automatisation des tâches métiers de l'entreprise. Intégrer ces informations dans les modèles d'informations supports aux systèmes PLM permettrait d'aller vers plus de fonctionnalités métiers et de faciliter l'intégration des KBS dans les systèmes d'informations de l'entreprise.

2.2.3 Conclusion sur le KBS

Les solutions KBS sont souvent plébiscitées par les PME du fait de l'adéquation du logiciel avec le métier de l'entreprise. Cette adéquation montre que ces méthodes sont propices à l'intégration d'une expertise métier qui serait utile d'intégrer dans les fonctionnalités PLM d'aujourd'hui. Ces systèmes présentent néanmoins plusieurs faiblesses : la maintenance du système, la consolidation des données et l'interopérabilité sont les principaux points critiques.

La troisième partie de ce chapitre vise à explorer les outils, les méthodes et les modèles de la littérature capables de supporter les concepts de PLM et de KBS. La modélisation permet de définir les modèles à implémenter dans les systèmes d'informations. Ces modèles, transcrits dans les bases de données des SI, permettent d'encapsuler, de lier et de consolider les informations produit nécessaires à la mise en place des fonctionnalités souhaitées.

2.3 La modélisation d'entreprise

L'entreprise est un système complexe. Les liens entre les composants de l'entreprise (personnes, produits, machines…) sont déterminants pour comprendre le fonctionnement de l'entreprise. Les liens avec l'extérieur sont également fondamentaux (cours de la bourse, taux d'imposition, marché…). Pour comprendre un tel système, le cartésianisme ne permet pas d'appréhender les différents points de vue sur les objets et leurs relations [LEM 77]. Des approches holistiques ou systèmes permettent de mieux appréhender la modélisation d'entreprise.

Son objectif est de faciliter la connaissance et la compréhension d'une entreprise. La modélisation dépend des buts du modélisateur. D'un point de vue épistémologique, il n'y a pas de modélisation fausse ou vraie, bonne ou mauvaise, il n'y a que des modélisations plus ou moins utiles dans un but défini [MOR 77]. Cette modélisation permet de faire des choix en adéquation avec les objectifs de cette entreprise. Dans ce cadre la modélisation permet de définir le système entreprise actuel et le système entreprise à venir pour la simulation, l'évaluation ou la comparaison.

Vernadat [VER 96] définit la modélisation d'entreprise comme "*the art of externalizing enterprise knowledge which adds value to the enterprise or needs to be shared. It consists in making models of the structure, behavior and organization of the enterprise.*"

Cette modélisation se fait en représentant les différents composants de l'entreprise par des objets d'entreprises. Il faut alors définir leurs propriétés ainsi que les liens qui les relient.

2.3.1 Définition des objets d'entreprises

Les objets d'entreprise ou entités sont des composants du système entreprise. Les attributs d'un objet sont ses caractéristiques. Les relations ou liens entre objets permettent de définir une organisation. Enfin les méthodes ou opérations définissent le comportement que peut avoir l'objet, les actions qu'il peut être à même d'effectuer.

Tous ces objets jouent des rôles au sein de l'entreprise. Ces rôles peuvent être permanents ou évoluer au cours du temps. Les rôles couramment nommés dans la théorie des processus sont les rôles de produit, de processus et de ressource.

Nous reprenons ici les définitions de Labrousse [LAB 04] qui s'appuie à la fois sur les normes ISO 9000 et l'étude des méthodes de modélisation pour les synthétiser sous cette forme :

- **Processus** : c'est une organisation séquentielle, spatiale et hiérarchique d'activités faisant appel à des ressources (ou moyens) et conduisant à des produits (ou sorties).
- **Produit** : c'est le résultat, l'élément que le processus a pour objectif de transformer.

- **Ressource** : c'est un élément contribuant au processus sans en être l'objet.

Il y ajoute les effets externes qui sont définis comme un objet qui agit en tant que contrainte (positive ou non) sur le système processus/produit/ressource considéré et qui affecte le déroulement des activités (Figure 2-9).

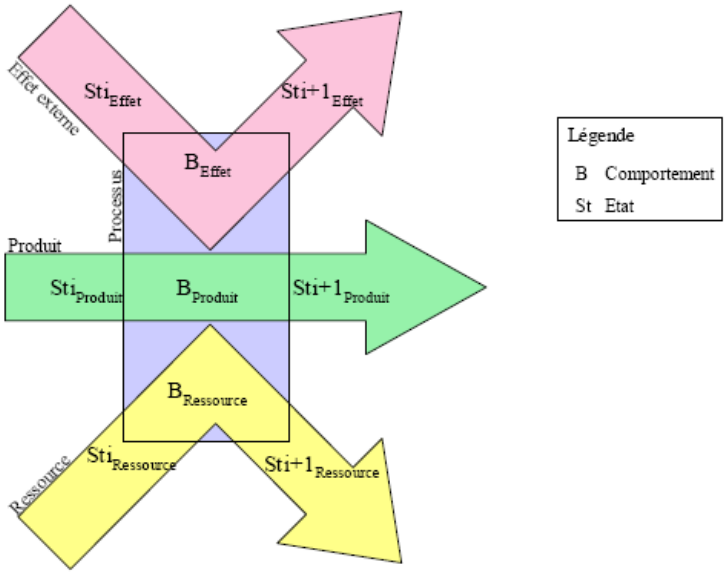


Figure 2-9: Description des interactions Produit, Processus, Ressource et Effet Externe selon [LAB 04]

Afin de connaitre plus en détail ces objets, trois vues sont proposée par Gero [GER 90] : la vue fonction, la vue comportement et la vue structure. La fonction est ce que fait l'élément, le comportement est comment il le fait, la structure est ce qu'il est.

Gero explique que le comportement attendu dérive de la définition fonctionnelle du produit, alors que le comportement réalisé dérive de sa structure et donc de choix techniques réalisés en vue d'obtenir le comportement attendu (Figure 2-10).

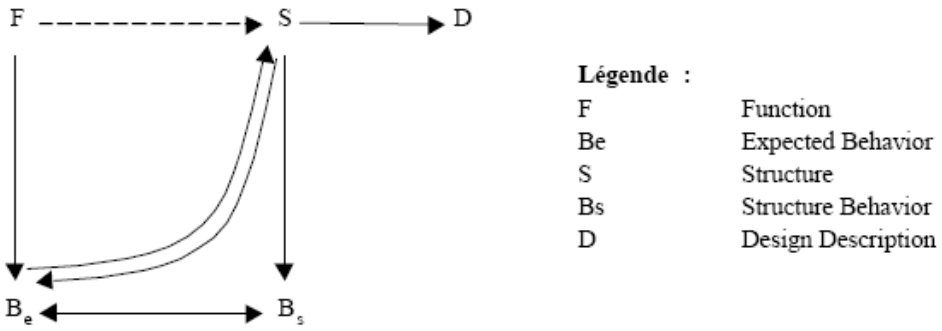


Figure 2-10: Modèle FBS[32] [GER 90]

[32] Function Behavior Structure

Ces objets sous leurs différentes vues doivent être représentés pour pouvoir être utilisés. C'est l'objectif des langages de modélisation.

2.3.2 Les langages de modélisation

Afin de pouvoir représenter et échanger les objets d'entreprise, de nombreux langages ont vu le jour. Certains sont plus adaptés à la définition de processus, à la définition de données, ou à la définition de besoins. Nous appellerons langage comportemental un langage adapté à la définition de processus, langage structurel un langage adapté à la définition de données et langage fonctionnel un langage adapté à la définition de besoins.

SADT (Structured Analisys Design Technics), développé par D. Ross en 1977, permet de modéliser des systèmes à l'aide d'actigrammes. **IDEF3** (Integrated DEFinition language), [IDE 93] créée en 1992 à la suite d'IDEF0 (elle-même dérivée de SADT) palie ses manques en matière de description du comportement. SADT est principalement utilisé pour définir des suites d'activités. Il correspond à un langage comportemental sans toutefois prendre explicitement en compte le temps. Les langages IDEFX permettant de palier à ce manque, en particulier IDEF3.

BPMN (Business Process Modeling Notation) [WHI 04] permet une modélisation intuitive des processus. Il propose des outils permettant l'exécution automatique de processus à l'aide d'un moteur de workflow basé sur XML, BPEL4W (Business Process Extension Language for Web Services). BPMN est également un langage comportemental.

XML (eXtensible Markup Language) [XML 02] fut développé par le consortium W3C[33] en 1998. Il s'agit d'un langage à balises qui permet de transférer des informations hiérarchisées via internet. Il s'agit d'un langage structurel. XMI (XML Metadata Interchange) est un standard créé par l'OMG[34] permettant d'échanger des métadonnées UML via XML.

STEP possède un langage de représentation formelle des données, **EXPRESS** (ISO 10303-11). Sa représentation graphique est **EXPRESS-G** [ISO 94b]. Il permet la représentation des données dans un but d'échange. SDAI (Standard Definition Application Interface) définit une interface entre des applications et des modèles de données exprimés en EXPRESS.

UML (Unified Modeling Language) [OMG 97] est né de la fusion dans les années 90 de trois langages issus du milieu logiciel: OMT, Booch et OOSE. Il fut accepté par l'OMG en 1997. OCL (Object Constraint Language) est un langage d'expression de contrainte utilisé dans UML. Ce langage permet la modélisation d'un système selon différents diagrammes. Le diagramme de classe par exemple permet de définir les différentes classes d'objets et leurs relations, c'est un langage structurel. Le diagramme d'activité et le diagramme de séquence permettent quant à eux de définir des processus et sont donc des langages comportementaux.

[33] World Wide Web Consortium, http://www.w3.org/, consulté le 19/02/2010.
[34] Object Management Group, http://www.omg.org/, consulté le 19/02/2010.

Le diagramme de cas d'utilisation permet une première ébauche du besoin, c'est un langage fonctionnel.

SysML (System Modeling Language) est une extension d'UML accepté en 2004 par l'OMG qui tend à palier les manques d'UML en matière d'ingénierie système. Il reprend les diagrammes d'UML en lui ajoutant, entre autre, un diagramme de spécifications qui tend à palier le manque d'UML en termes de langage fonctionnel.

Nous récapitulons dans le Tableau 2-1 les vues modélisables avec les différents langages étudiés. Il sera utilisé dans le chapitre 3 pour proposer des langages adaptés à notre proposition de méthode de modélisation pour les PME mécaniciennes.

	SADT	**BPMN**	**XML**	**Express**	**UML**	**SysML**
Fonctionnel	Non	Non	Non	Non	Partiel	Oui
Structurel	Non	Non	Oui	Oui	Oui	Oui
Comportemental	Oui	Oui	Non	Non	Oui	Oui

Tableau 2-1: Synthèse des langages de modélisation

Ces langages permettent de représenter les objets d'entreprise. En aucun cas ils ne permettent de définir les objets à modéliser. Il s'agit là du rôle des cadres de modélisation.

2.3.3 Les cadres de modélisation

Les cadres de modélisation permettent de décrire une démarche permettant de représenter les objets d'entreprise selon les différentes vues et d'assurer l'intégration des différents modèles représentant l'entreprise. Ils permettent à l'utilisateur de se concentrer sur un aspect précis sans perdre l'aspect holistique du système.

Les cadres présentent généralement plusieurs dimensions, une dimension cycle de vie, une dimension généricité et une dimension vues, comme par exemple pour GERAM [GER 99].

La dimension cycle de vie définit les différentes étapes de définition de l'entreprise :

- Identification : définit les frontières du système en question et ses relations avec l'extérieur.
- Concept : défini les missions, stratégies, objectifs du système.
- Spécification : définit les processus et les informations nécessaires à la satisfaction du besoin du système.

- Conception : définit les processus, informations et ressources nécessaires à la réalisation de la spécification.
- Implémentation : met en place le système.

La dimension généricité définit l'applicabilité de l'approche, on distinguera trois niveaux:

- Générique : l'approche est applicable à n'importe quel type d'entreprise.
- Partiel : l'approche est spécialisée pour un domaine particulier.
- Particulier : l'approche est spécialisée pour une entreprise particulière.

Les cadres présentent ainsi plusieurs vues du système permettant à l'utilisateur de se concentrer sur un objectif de sa modélisation:

- La vue fonctionnelle : elle représente les fonctions et les comportements des processus d'entreprise. Elle peut être appliquée au processus de décision, de transformation, au processus support…
- La vue information : elle représente les informations des objets d'entreprise et leurs utilisations dans les processus de l'entreprise. Les informations sont structurées en modèles d'informations.
- La vue ressource : elle représente les ressources (humaines, matérielles et logicielles) de l'entreprise. Les ressources sont allouées aux activités en fonction de leurs capacités.
- La vue organisation : elle représente les responsabilités sur toutes les entités présentes dans les autres vues.

Différents cadres ont vu le jour depuis les années 70. Si les premiers étaient issus du milieu logiciel, la productique a eu également besoin d'apporter ses propres cadres de modélisation pour répondre à des objectifs différents de gestion des ressources et de contrôle des processus. Citons quelques un des principaux cadres de modélisation :

MERISE créée en 1978 par H. Tardieu, cette méthode est basée sur la séparation des données et des traitements à effectuer en plusieurs modèles conceptuels et physiques. La séparation des données et des traitements assure une longévité au modèle (Figure 2-11). En effet, l'agencement des données n'a pas à être souvent remanié, tandis que les traitements le sont plus fréquemment. Cette méthode fut très utilisée pour la création de systèmes basés sur les bases de données relationnelles dans les années 80.

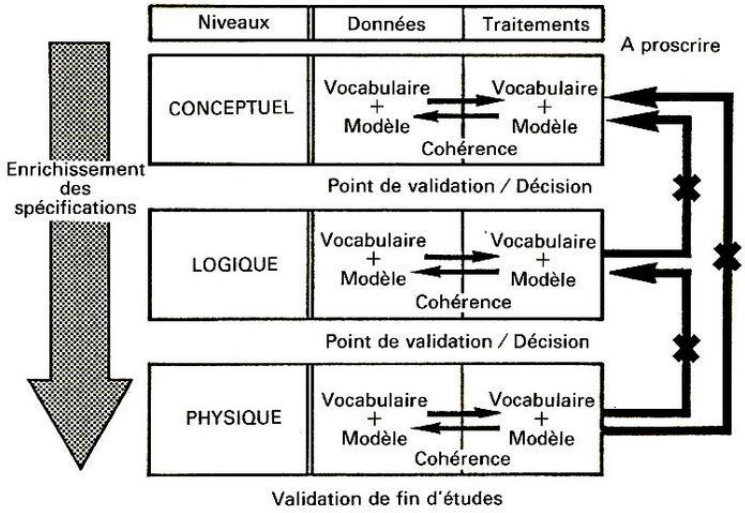


Figure 2-11: Cadre de modélisation de Merise [WAL 90]

ARIS (Architecture for Integrated Information Systems) [SCH 98] développée en Allemagne par Scheer, cette méthode se focalise surtout sur les aspects conception de systèmes d'informations en entreprise en s'appuyant sur des méthodes d'organisation orientées métiers (Figure 2-12).

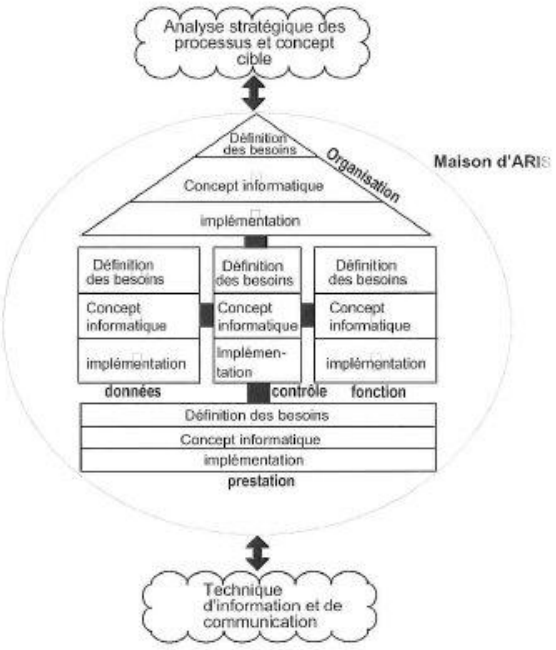


Figure 2-12: Maison d'ARIS [SCH 98]

ZACHMAN est un cadre créé en 1987 chez IBM pour concevoir des systèmes d'informations d'entreprise [ZAC 87]. Il emploie six types d'interrogations (What, How, Where, Who,

When, Why) qui croisent six types de modèles (visionary, owner, designer, builder, implementer, worker) (Figure 2-13).

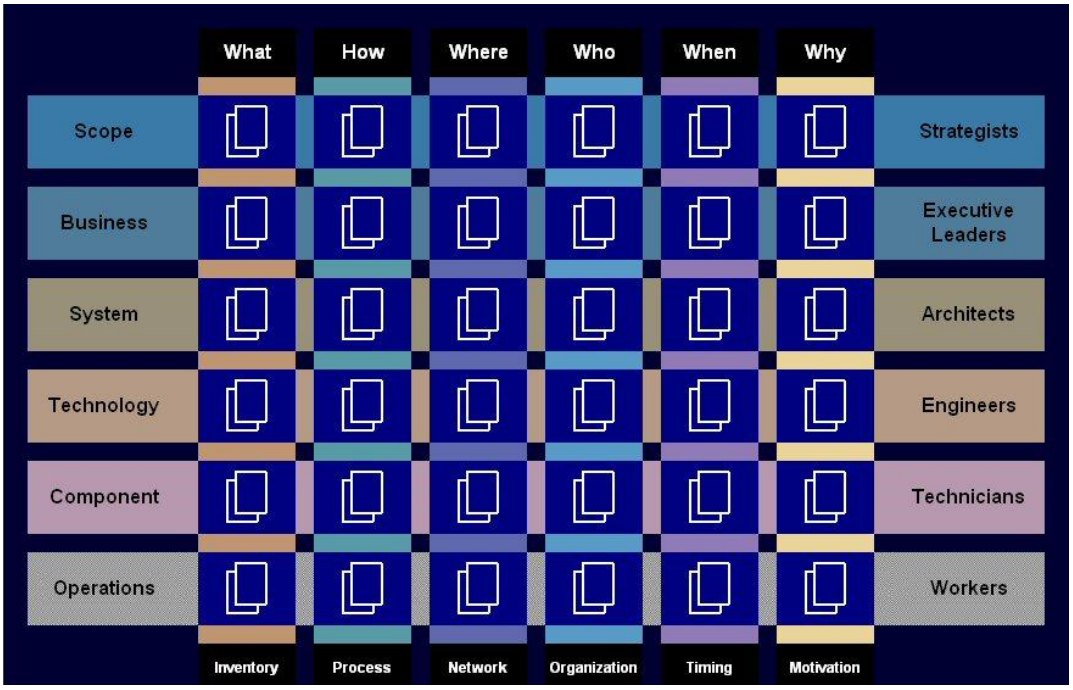


Figure 2-13: Cadre de Zachman [ZAC 87]

GIM (GRAI Integred Methodology) est une méthode de modélisation des processus de décision d'une entreprise qui a été développée à l'université de Bordeaux I dans les années 80 [DOU 98]. Elle s'appuie principalement sur deux outils : les grilles GRAI et les réseaux GRAI. Basée sur un principe de décision – action, cette méthode permet de relier le système de décision avec le système de production (Figure 2-14).

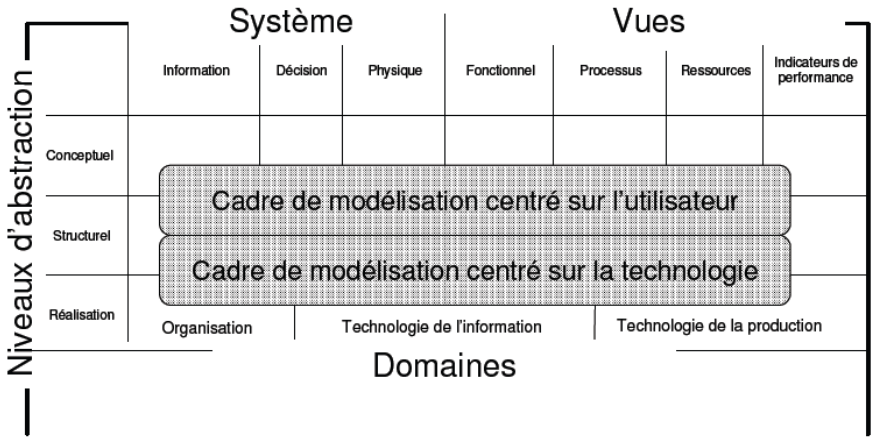


Figure 2-14: Cadre de modélisation de GIM [DOU 98]

CIMOSA (Computer Integrated Manufacturing Open System Architecture) [KOS 99] a été développée par le consortium AMICE dans le cadre du projet ESPRIT. C'est une architecture qui a essentiellement pour but de modéliser les systèmes intégrés de production. Cette architecture comprend un modèle d'architecture basé sur des langages de modélisation intégrés des aspects fonctionnels, informationnels, ressources et organisationnels, le cycle de vie du CIM et une spécialisation des modèles (Figure 2-15).

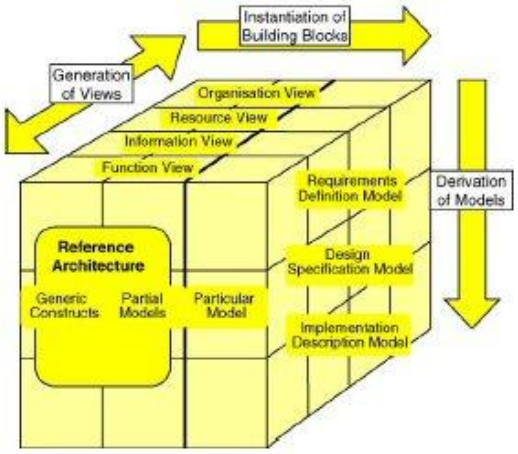


Figure 2-15: Cube de CIMOSA [KOS 99]

PERA (Purdue Entreprise Reference Architecture) a été fondée par le Purdue Consortium en 1994 [WIL 94]. C'est une architecture en couches qui permet de modéliser l'aspect fonctionnel et informationnel d'un système. Elle prend en compte toutes les étapes du cycle de vie d'une entité industrielle, de sa conceptualisation à son opérationnalisation (Figure 2-16).

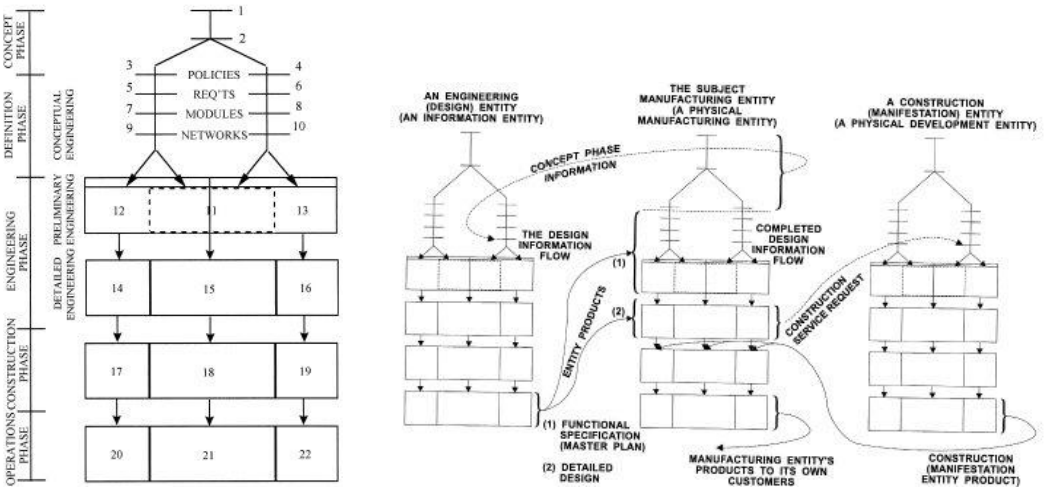


Figure 2-16: Cadre de modélisation de PERA [WIL 94]

GERAM (Generalised Enterprise Reference Architecture and Methodology) [GER 99] est une architecture et une méthode permettant la modélisation de processus d'entreprise résultant de l'IFAC/IFIP Task Force qui s'est appuyée sur les architectures existantes (principalement GRAI, PERA et CIMOSA) pour développer une architecture générale (Figure 2-17). **VERAM** [ZWE 01] (Virtual Enterprise Reference and Methodology) tente d'élargir GERAM à l'entreprise virtuelle.

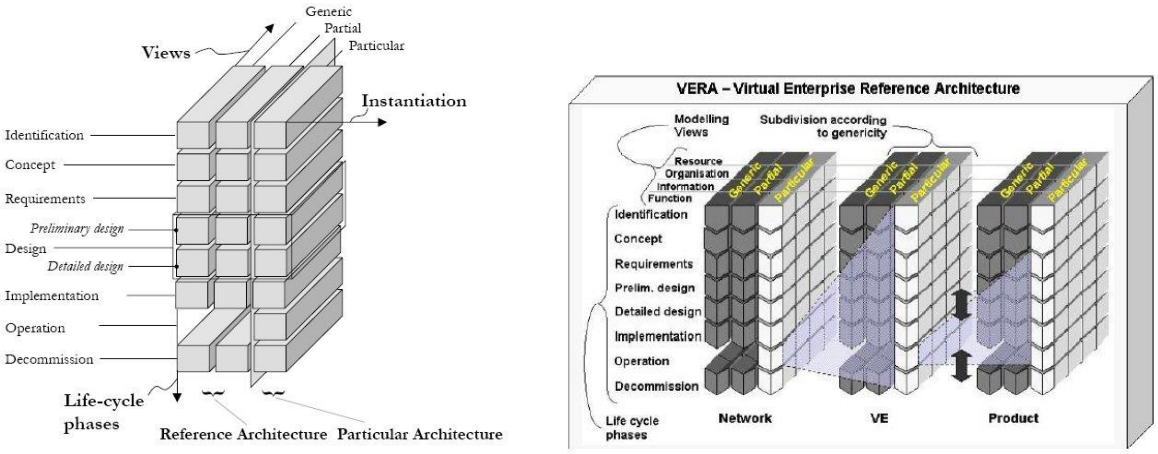


Figure 2-17: Cadre de modélisation de GERAM [GER 99] (à gauche) et de VERAM (à droite) [ZWE 01]

De nombreux travaux ont été effectués pour lier ces différents cadres avec GERAM afin de diminuer la multiplicité des solutions existantes, comme Chen qui lie GERAM et GIM [CHE 97], Williams avec PERA [WIL 97] et Noran avec Zachman [NOR 03].

Les différentes propositions sont récapitulées dans le Tableau 2-2. Il sera utilisé dans le chapitre 4 pour construire le cadre de modélisation pour système PLM proposé.

	Merise	ARIS	Zachman	GIM	CIMOSA	PERA	GERAM
vues	non	oui	oui	oui	oui	oui	oui
généricité	non	non	non	non	oui	non	oui
cycle de vie	non	oui	non	oui	oui	oui	oui

Tableau 2-2: Synthèse des cadres de modélisation

Ces cadres contribuent à la mise au point de modèles de données et de processus nécessaires à l'échange d'informations. Néanmoins, ils restent complexes et peu accessibles aux PME par manque de compétences en modélisation d'entreprise dans ces entreprises.

2.3.4 Les modèles de produit

Les modèles de produit permettent de structurer un grand nombre d'informations nécessaires à l'entreprise. Les modèles de produit furent introduits par Dupinet [DUP 91], Mony [MON 92] et Krause [KRA 93] au début des années 90, puis repris par Tichkiewitch et Bernard dans le but de gérer l'ensemble des informations relatives au produit dans un contexte multi-acteurs et multi-vues [TIC 96], [BER 96].

Tous ces modèles manipulent des informations, avec pour certains l'objectif de structurer les informations (par exemple FBS PPRE [LAB 04] et IPPOP [EYN 05]), pour d'autres celui d'en faciliter sa réutilisation (les patrons, par exemple [GZA 00]), pour d'autres enfin d'en faciliter l'échange (comme l'AP 214 de STEP ou PLCS [ISO 98]).

FBS-PPRE (Function Behaviour Structure – Product Process Resource External effect) [LAB 04], permet une modélisation générique des objets d'entreprise et de leurs dynamiques d'évolution. Il associe une fonction, un comportement et une structure à tous les objets quelque soit leurs rôles (produit, processus, ressource ou effet externe) (Figure 2-18). Ce modèle est très générique, ce qui en fait à la fois sa force et sa faiblesse en vue d'une application en PME. La généricité de FBS-PPRE permet de bien couvrir la forte diversité des besoins des PME mécaniciennes, mais avec une opérationnalisation difficile pour ces entreprises.

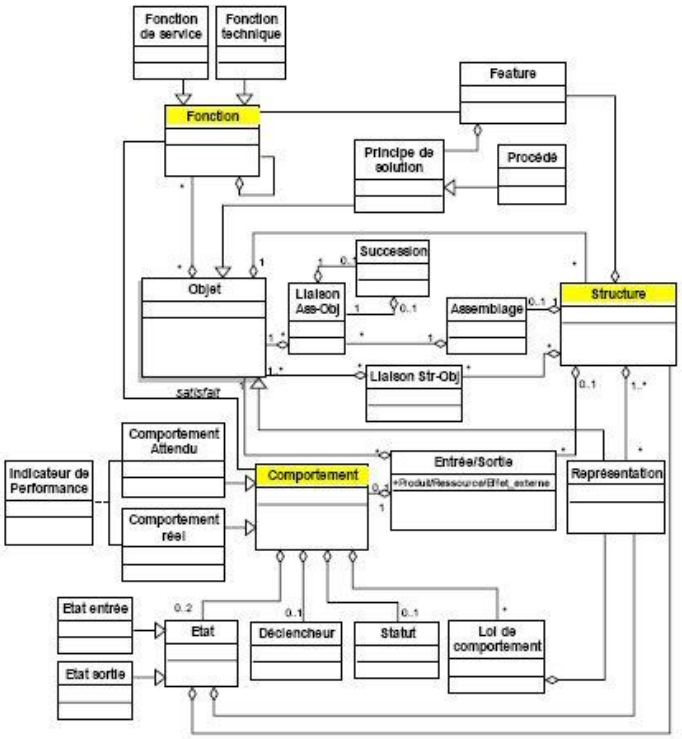


Figure 2-18: Méta-modèle FBS-PPRE [LAB 04]

IPPOP[35] : (Integration of Product Process Organisation for engineering Performance improvment) [EYN 05], [NOE 06], [ROU 07] est un projet RNTL qui fournit un modèle produit permettant de formaliser la connaissance sur le produit (fonction, structure, comportement) et de le lier aux outils type CAO, un modèle de processus permettant de tracer et de capitaliser les évolutions de la connaissance, et un modèle d'organisation facilitant la prise de décision multi-objectifs (Figure 2-19). Ce modèle est orienté gestion du projet de conception et aide à la décision. Il ne répond que partiellement aux besoins de gestion des autres phases du cycle de vie du produit, à commencer par la phase d'industrialisation qui n'est pas représentée de manière explicite dans ce modèle.

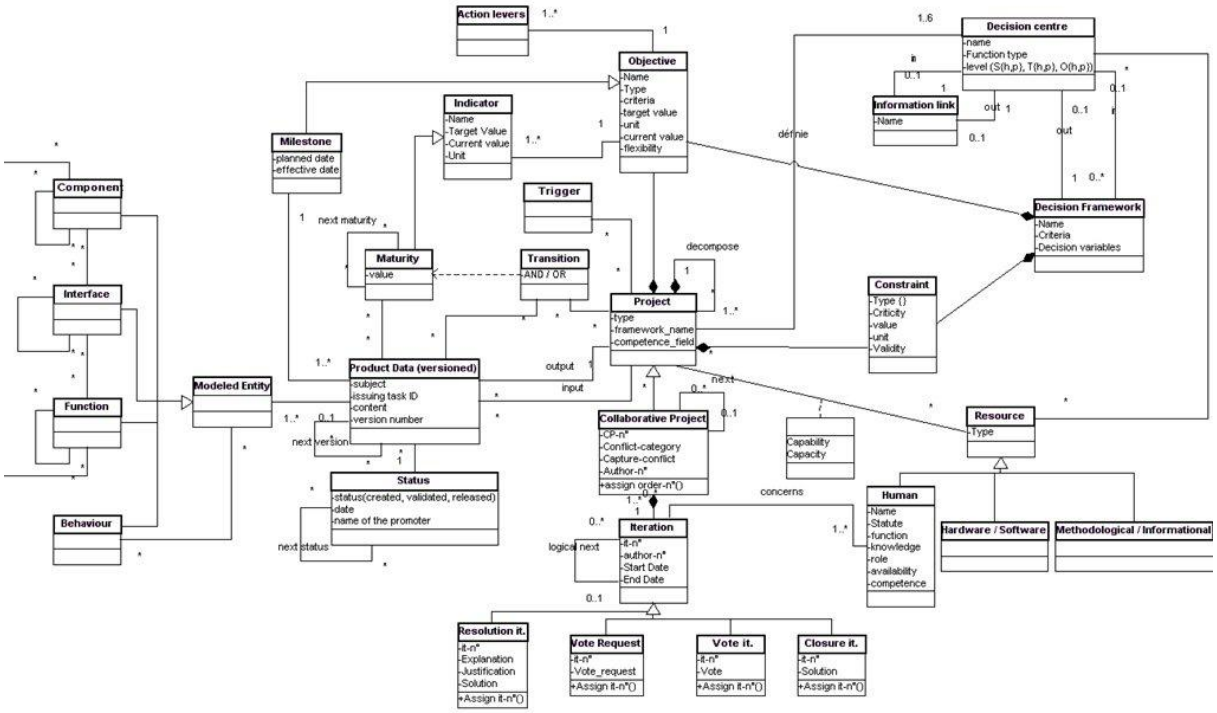


Figure 2-19: Méta-modèle IPPOP [ROU 07]

Approche par patrons [GZA 00]: les patrons servent principalement à la réutilisation de l'information. Le modèle produit (Figure 2-20) est basé sur trois niveaux de produit (générique, virtuel et physique) et quatre types de nomenclature (fonctionnelle, géométrique, organique d'étude et organique industrielle). Le modèle processus (Figure 2-21) permet la décomposition et l'organisation de processus selon deux axes : le changement d'acteurs et le changement d'objectifs. Les patrons permettent une réutilisation des informations utilisées dans les PME mais ne sont pas adaptés à l'utilisation en entreprise étendue en l'état.

[35] Site d'IPPOP, http://ippop.laps.u-bordeaux1.fr/index.php, consulté le 19/02/2010.

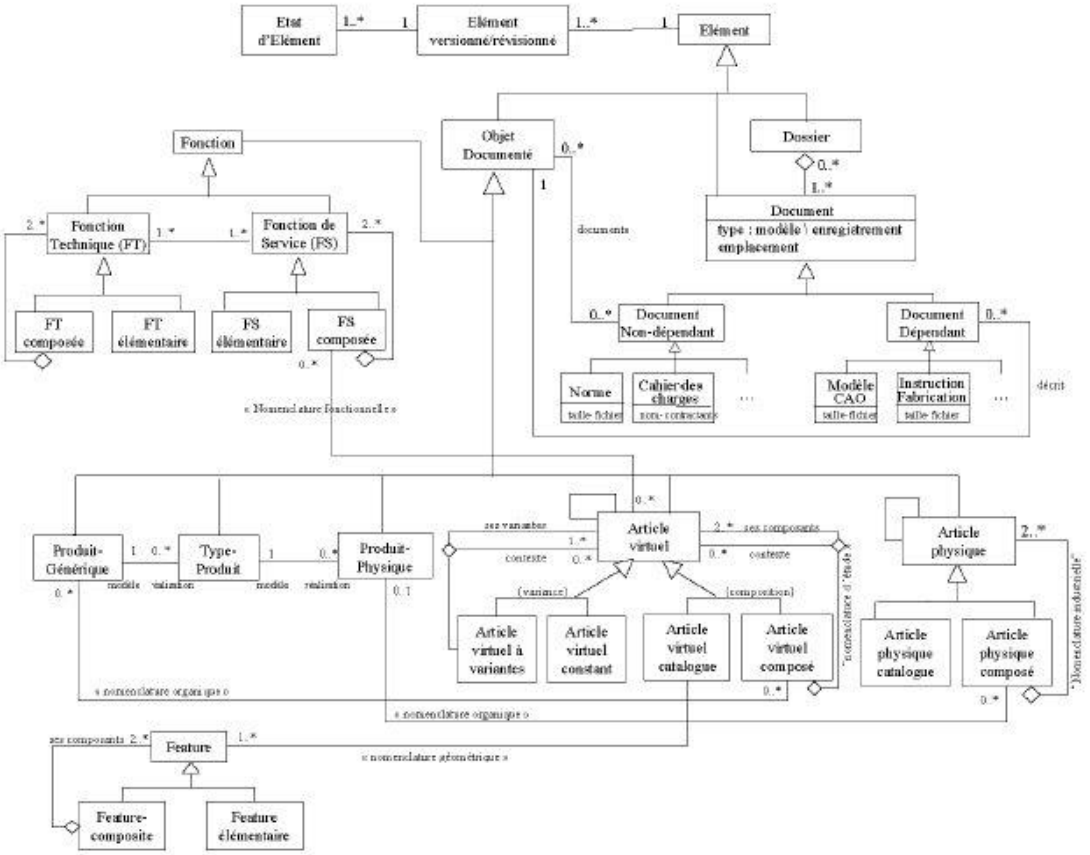


Figure 2-20: Méta-modèle produit [GZA 00]

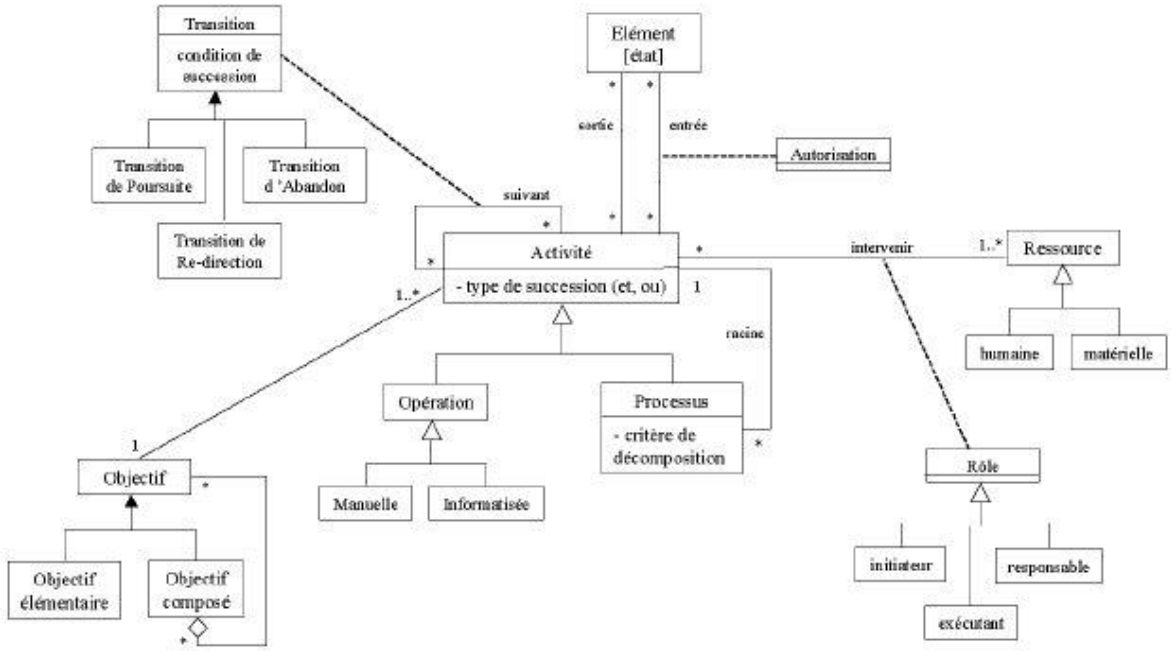


Figure 2-21: Méta-modèle processus [GZA 00]

La norme la plus utilisée pour l'échange et la structuration d'information dans le domaine de la mécanique reste **STEP** (Standard for Exchange Product Data). C'est un standard d'échange international de l'ISO (ISO 10303) qui décrit comment représenter et échanger les modèles de produit [ISO 94a]. De nombreux travaux ont été effectués dans différents secteurs afin d'adapter STEP à des domaines spécifiques ou, au contraire, d'en élargir le spectre, tel [CHA 99], [ELK 02] et [EUL 08]. Récemment **OntoSTEP** [KRI 09] utilise OWL pour retranscrire STEP dans un format permettant plus de logique sémantique qu'EXPRESS.

STEP est un standard d'échange d'informations qui peut être utilisé comme modèle produit dans les systèmes d'informations. Les protocoles d'applications (AP) sont des modèles de données de STEP spécifiques à une industrie et/ou à une partie du cycle de vie. Citons pour le contexte qui nous intéresse, l'**AP214** [ISO 98], spécifique au secteur automobile et **PLCS** (Product LifeCycle Support) ISO 10303-239 [ISO 05] [PRA 05] visant plus le secteur aéronautique. Bien que l'AP214 et PLCS aient des ressources intégrées communes, ces modèles ne sont pas complètement interopérables car les objets et leurs attributs diffèrent selon le domaine d'application. D'où la naissance d'un méta-modèle commun, **PDM Schema** [PDM 01] qui tend à unifier les modèles de données des différents AP de STEP en utilisant leurs objets communs. Ces modèles ont pour premier avantage d'être des standards ISO. Néanmoins ils sont trop complexes à mettre en œuvre en PME du fait de leur complétude qui entraine une multitude d'objets à gérer. Même les logiciels issus de ces standards admettent n'utiliser dans les faits qu'une partie des objets de la norme. De plus STEP repose sur une approche Article-Activité, qui est moins structurante qu'une approche Produit-Processus-Ressource préconisée dans les autres modèles évoqués ici.

D'autres normes ISO sont également utilisées dans le contexte PLM, citons notamment :

- **PSL** (Process Specification Language) ISO 18629 est une représentation des processus qui représente chaque instanciation des processus modélisés.
- **PLib** (Product Library) initialisé en 1990, PLib est un standard ISO (13584) qui facilite l'échange d'informations en EXPRESS sur les bibliothèques de composants [NYQ 08].
- **MANDATE** (MANufacturing management DATa Exchange) (ISO 15531) est une norme pour la modélisation des informations de gestion de production.
- **PDM Enabler** est un protocole de l'OMG qui définit les interfaces de programmation pour les PDM, spécialement ceux qui gèrent des assemblages.

Le Tableau 2-3 récapitule les modèles produits étudiés. Il sera utilisé dans le chapitre 4 pour définir un modèle de données générique pour le PLM dans le domaine mécanicien.

	FBS PPRE	IPPOP	Patron	STEP AP 214	PLCS
PPR	oui	oui	oui	non	non
Multivue	oui	oui	oui	oui	oui
Spécialisable	non	non	non	oui	oui

Tableau 2-3: Synthèse des modèles produit

Les modèles de produit permettent de structurer l'information, de faciliter sa réutilisation ou son échange. Leur opérationnalité et donc la facilité à les mettre en œuvre dans une PME reste un frein à leur utilisation massive.

2.3.5 Conclusion sur la modélisation d'entreprise

La modélisation d'entreprise fourmille de langages, de méthodes et de modèles. Néanmoins pour une utilisation opérationnelle, qui plus est en PME, ces approches peuvent paraître pour le moins complexes, voir inutilisables.

Les langages permettent de définir une vue structurelle, comportementale ou fonctionnelle des objets. Ils sont utilisés dans les différentes méthodes. Les modèles permettent de structurer les informations, soit dans le but de faciliter leurs utilisations et réutilisations, soit dans le but de faciliter leur échange.

Les modèles créés doivent également communiquer aussi bien avec d'autres modèles internes (ERP, KBS…) qu'avec ceux d'entreprises partenaires. Le prochain paragraphe détaillera cette problématique via la notion d'interopérabilité.

2.4 L'interopérabilité

L'interopérabilité est la capacité d'un système à interagir avec un autre. Vernadat [VER 96] la définit ainsi : l'interopérabilité est la capacité à communiquer avec un système et d'accéder aux fonctionnalités de ce système. D'un point de vue ingénierie, Chen [CHE 03a] la définit comme la capacité de deux programmes à travailler ensemble sans effort d'interfaçage particulier.

Le réseau d'excellence **INTEROP**[36] (Interoperability Research for Networked Enterprises Applications and Software - Network of Excellence) [INT 04] fait suite à **IDEAS** (Interoperability Developments for Enterprise Applications and Software). Il considère que

[36] Site du réseau InterOP-VLab, qui fait suite au projet INTEROP : http://www.interop-vlab.eu/, consulté le 19/02/2010.

l'interopérabilité de système combine les trois domaines que sont : la modélisation d'entreprise, les architectures et leurs plateformes, ainsi que les ontologies.

Les ontologies permettent de définir un domaine en identifiant les différents concepts qui le composent et les liaisons entre ceux-ci. Elles permettent également en liant les concepts de deux domaines différents de faciliter l'interopérabilité des systèmes d'un même domaine. La construction d'une ontologie regroupe à la fois l'étude des connaissances, la définition du langage de représentation et les systèmes pour les manipuler.

Le terme d'ontologie est apparu il y a quinze ans dans le domaine de l'intelligence artificielle, mais existe depuis le 19ème siècle en philosophie où il vise à représenter l'ensemble des connaissances possibles. Il est plus modeste et plus pragmatique en IA, ne prétendant représenter que l'ensemble des connaissances d'un domaine.

En termes de langage, **OWL** (Web Ontology Language) [OWL 09] permet de définir des ontologies structurées. Il est basé sur le langage XML. Pour ce qui est des logiciels, citons **Protégé**[37] [NOY 00], qui est l'éditeur d'ontologies libre de Stanford.

Un modèle d'entreprise exprimé par une ontologie a résulté du projet **TOVE** (TOronto Virtual Enterprise) [GRU 95], permettant à un système utilisant cette ontologie de gérer les connaissances liées à l'organisation et aux activités des entreprises.

L'aspect ontologique seul ne permet pas une interopérabilité forte. Les entreprises voulant communiquer doivent être interopérables sur trois différents niveaux : Le niveau **processus**, le niveau **données** et le niveau **TIC** avec une prise en compte de l'aspect ontologique à chaque niveau (Figure 2-22).

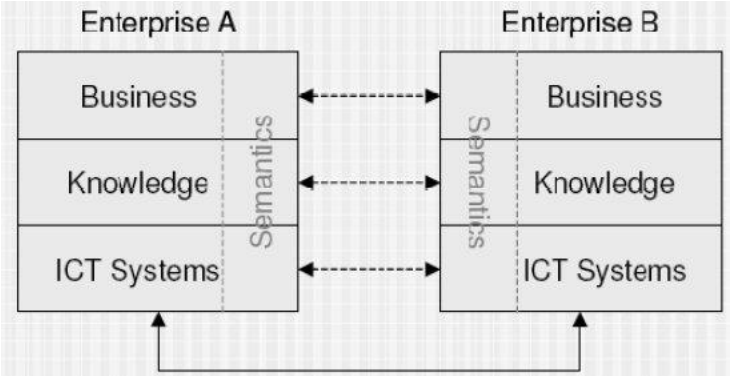


Figure 2-22: Besoins en interopérabilité [INT 04]

ATHENA (Advanced Technologies for interoperability of Heterogeneous Enterprise Networks and their Application) [ATH 04] avait pour but de fournir des architectures de référence, des modèles et des méthodes pour faciliter l'interopérabilité.

[37] Site de Protégé, http://protege.stanford.edu/, consulté le 19/02/2010.

Du point de vue des modèles, plusieurs approches permettent de faciliter l'interopérabilité des systèmes. Selon Chen [CHEN 03b], trois approches sont à distinguer (Figure 2-23):

- L'approche **intégrée** utilise un modèle commun pour l'ensemble de l'entreprise. Elle pose comme problème principal l'adhésion des utilisateurs qui ont des modèles et des outils propres.
- L'approche **unifiée** reprend les modèles des différents utilisateurs et les exprime dans un langage commun afin de définir un modèle commun. Deux possibilités sont alors envisageables : soit créer des passerelles entre le modèle commun et chaque modèle particulier, soit créer un nouveau référentiel sur la base du modèle obtenu.
- L'approche **fédérée** consiste à lier de manière dynamique les différents modèles entre eux au niveau sémantique via une ontologie commune.

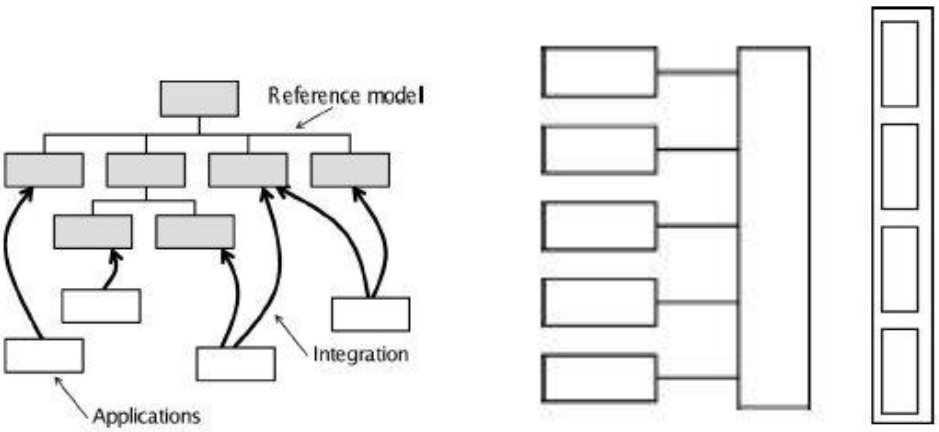


Figure 2-23: Les niveaux d'interopérabilité, de gauche à droite : intégré, unifié et fédéré

Panetto [PAN 06] explique que pour le PLM, l'interopérabilité des applications et l'intégration des bases de données sont les problèmes principaux du point de vue technologie de l'information. En effet, l'interopérabilité permet l'échange d'informations entre les SI. Notre système doit pouvoir communiquer avec les SI d'autres entreprises et les SI internes comme l'ERP ou les applications métier telle la CAO.

Dans ces travaux nous nous intéresserons à l'interopérabilité des données et des processus, mais nous laisserons de coté la partie TIC, hors de notre périmètre d'étude. En effet les PLM sont des logiciels utilisant déjà leurs propres technologies. La configuration de tels systèmes ne peut se faire que sur les parties données et processus. Nous nous intégrons dans la vision d'IDEAS et aujourd'hui d'INTEROP.

2.5 Les verrous scientifiques à lever

Le PLM est une stratégie d'entreprise visant à gérer toutes les informations relatives à un produit, sur l'ensemble de son cycle de vie, et ce pour la totalité des acteurs internes et externes impliqués dans sa création. De nombreux logiciels tentent de supporter les méthodes pour obtenir une stratégie PLM dans l'entreprise. Ils ne proposent aujourd'hui qu'une gestion documentaire améliorée et les fonctionnalités de demain ne semblent pas plus prometteuses en termes de fonctionnalités métier.

Une solution pour permettre des fonctionnalités métiers plus poussées se situe peut être dans les systèmes à base de connaissances. Il s'agit d'automatisation de tâches métiers par la structuration et l'intégration de connaissances. Le couplage des méthodes de KBS et du PLM peut permettre d'obtenir des fonctionnalités métiers plus avancées que celles proposées aujourd'hui.

Pour supporter ces deux niveaux d'informations produit, celui du PLM et celui des KBS, des modèles de données spécifiques sont à mettre en place. Nous avons alors exploré les langages de modélisation, les modèles et les méthodes de la littérature.

Les langages peuvent être classés en trois familles : les langages fonctionnels, qui permettent de définir les fonctions d'un système (tel que les diagrammes de spécifications de SysML), les langages structurants qui exposent la structure d'un système (tel que les diagrammes de classes UML, Express G ou XML) et les langages comportementaux qui décrivent les processus (tel que IDEFX ou BPMN). Ils permettent de représenter différents aspects du système d'informations.

- **Les langages** : Les langages de modélisation utilisés ne sont pas tous adaptés aux compétences internes des PME mécaniciennes. Ne permettant pas une discussion avec les experts métiers de l'entreprise, les modèles qu'ils représentent ne sont pas facilement compris par ces experts et ne peuvent donc pas être validés.

Des méthodes facilitent la modélisation du système en offrant un cadre au modélisateur. Elles sont soit issues de la productique comme par exemple GRAI GIM, CIMOSA et GERAM soit issues du génie informatique avec Merise, ARIS et Zachman. Nous situant dans le domaine de la productique, nous nous appuierons sur le cadre de modélisation de GERAM, qui synthétise de nombreuses méthodes de modélisation d'entreprise issues de la productique.

- **Les méthodes** : Les méthodes de modélisation actuelles sont trop génériques et peu adaptées à la modélisation de processus et de modèles de données pour le PLM. Elles ne guident pas le modélisateur dans la définition de modèles de données et processus en accord avec les besoins des entreprises.

Les modèles ont principalement trois buts distincts, aider à la structuration de l'information, c'est le cas de FBS-PPRE et IPPOP, la réutilisation tel les Patrons ou l'échange d'informations avec les normes STEP AP 214 ou PLCS.

- **Les modèles**: les modèles actuels ne sont pas construits dans une optique PLM. Ils doivent être modifiés pour répondre aux besoins PLM de manière compréhensible par les experts métiers.

Nous allons proposer une méthode de modélisation, basée sur les besoins PLM de l'entreprise, qui définira les langages de modélisation à utiliser. Elle devra permettre de prendre en compte les besoins métiers de l'entreprise en termes de PLM.

Pour ce faire, et dans le but d'éviter les erreurs commises en utilisant uniquement les informations des PME dont les donneurs d'ordres ont besoin, nous choisissons de nous immerger dans trois différentes entreprises pilotes représentatives des PME mécaniciennes afin d'y appliquer des méthodes d'extractions de connaissances et de modélisation d'entreprise nous permettant de définir les besoins de ces entreprises et les modèles de processus et de données à implémenter dans un système PLM qui répondrait à ces besoins.

Dans un second temps, et dans une optique d'interopérabilité inter-entreprise, nous construiront un modèle générique basé sur les modèles particuliers obtenus précédemment pour permettre une meilleure communication entre entreprises et faciliter la création de nouveaux modèles PLM.

La méthode d'extraction et de modélisation d'entreprise appliquée à trois entreprises pilotes sera l'objet du chapitre trois. La conception du modèle générique pour faciliter la modélisation et l'interopérabilité sera l'objet du quatrième chapitre.

Proposition et application d'une méthode inductive de modélisation d'entreprise

3. Proposition et application d'une méthode inductive de modélisation d'entreprise

Ce chapitre expose la méthode de modélisation permettant de spécifier un système PLM, ainsi que l'application de cette méthode à trois cas d'études. La méthode est constituée de quatre étapes :

1. Expression du besoin.
2. Formalisation des processus.
3. Extraction des objets.
4. Validation.

Ces étapes sont à la fois issues des cadres de modélisation de la littérature, tel GERAM, et de l'approche inductive mise en place. Dans chacune des entreprises, cette méthode permettra d'obtenir une carte de besoins, une définition des processus et un diagramme de classes, tous trois validés par la mise en œuvre d'une solution informatique et sa confrontation avec l'expert. Les cas d'études portent sur des sociétés représentatives des trois types d'entreprises présentés dans le chapitre 1.

3.1 Méthode de modélisation

Afin de répondre à la demande des PME mécaniciennes par des méthodes de modélisation et des modèles pour l'implémentation des systèmes PLM, la démarche scientifique choisie est la suivante : identifier les besoins de l'entreprise, modéliser les processus mis en œuvre lors de la réalisation de ces besoins, extraire les objets d'entreprises utilisés lors de ces processus et valider les modèles obtenus via la confrontation avec l'expert.

On retrouve bien les phases classiques en modélisation d'entreprise d'expressions du besoin et de définition du système, cette dernière étant ici décomposée par une modélisation des processus et une modélisation des objets d'entreprise. La phase d'implémentation n'apparait pas ici car nous ne considérons pas qu'elle soit nécessaire dans le cadre de la définition d'un système PLM pour une PME. Les PME vont se tourner vers des logiciels PLM du commerce, donc de type « boite noire ». Il ne leur est donc pas nécessaire de modéliser les modèles d'implémentation logiciel puisque ceux-ci leurs seront imposés par le logiciel choisi. En revanche, elles doivent pouvoir importer dans ces logiciels leurs propres modèles de processus et d'objets, relatifs à leurs besoins.

Afin de définir les outils les plus appropriés à chaque phase de notre méthode, nous nous basons sur l'analyse des langages de modélisation effectuée durant l'état de l'art et synthétisé Tableau 2-1. L'application de la méthode vise également à valider les choix de langages effectués.

1. **Identifier les besoins de l'entreprise.** Les besoins des PME ne se retranscrivent pas complètement dans les modèles actuels. Notre démarche commence donc par une identification formelle des besoins de l'entreprise. Cette phase d'identification du besoin se fait principalement en questionnant l'expert et en l'observant dans l'exercice de ses fonctions. Il s'agit alors de récupérer les besoins explicites et implicites liés au PLM. Les experts interviewés sont principalement les responsables BE, BM et atelier ainsi que différents ingénieurs et opérateurs de ces départements. Étant donné que ce travail s'effectue en PME, les experts interviewés ont une vision globale du cycle de vie du produit, du fait de leur obligatoire multidisciplinarité. La prise en compte des besoins de l'intégralité du cycle de vie du produit est donc assurée par la multidisciplinarité des acteurs interviewés. Les besoins peuvent alors être retranscrits en utilisant un langage fonctionnel, comme les diagrammes de besoins SysML par exemple. Dans notre cas nous choisissons d'utiliser les graphes conceptuels. Les graphes conceptuels ne permettent pas de manière explicite de représenter les catégories de besoins et les liens entre ceux-ci. Ils représentent un langage moins formel mais plus apte à la discussion avec l'expert. En effet la modélisation des besoins demande un langage simple et facile à appréhender pour les utilisateurs sans formation particulière. La communication directe avec l'expert est un point fondamental pour la bonne compréhension des besoins de l'entreprise. Ce langage permet entre autre d'exprimer les besoins avec la terminologie de l'utilisateur. Le résultat de cette étape est une définition des besoins de l'expert.

2. **Modéliser les processus mis en œuvre pour répondre aux besoins.** Cette phase cherche à formaliser les processus d'entreprise répondant aux besoins exprimés précédemment. Ici également il faut interroger les experts sur ces processus, les observer et prendre leurs places afin d'extraire les processus existants de l'entreprise sur les besoins ciblés. La gestion du changement et le passage des processus existants aux processus objectifs est hors du périmètre de notre étude. Le langage utilisé ici est un langage processus. On pensera à IDEFX, BPMN ou encore les diagrammes d'activité UML. Nous choisissons ici d'utiliser SADT pour sa facilité de compréhension par les utilisateurs métiers. L'objectif du langage est de permettre la communication avec l'expert métier pour valider la bonne modélisation des processus. Le résultat de cette étape est un modèle de processus qui répondent aux besoins de l'entreprise.

3. **Extraire les objets d'entreprises utilisés lors de ces processus.** L'extraction des objets d'entreprise se fait à partir de la définition des processus. Les documents traités lors de ces processus sont les éléments entrants et sortants des activités qui constituent les processus. Ces documents représentent les objets d'entreprise du modèle de données nécessaires à l'entreprise. Les liens entre les objets se déduisent également des processus. Les langages utilisés ici sont les diagrammes de classes UML, XML,

Express G ou tout autre langage structurel. Les diagrammes de classes UML sont choisis pour leur forte utilisation aussi bien dans le domaine mécanique que dans le génie informatique, ce qui facilitera l'implémentation de ces diagrammes par la suite. A la fin de cette étape, un modèle de données correspondant au modèle de processus et aux besoins de l'entreprise est obtenu.

4. **Valider les modèles obtenus via la confrontation avec l'expert.** Une phase de validation de la compréhension des besoins est faite via l'automatisation de ces processus. Ce principe permet de valider également les processus mis en œuvre et la complétude des objets identifiés. Elle se fait par le développement d'un démonstrateur informatique basé sur les technologies VB.Net et MS Access. Ce choix de technologies est fait en fonction des compétences informatiques internes aux entreprises et de l'accessibilité de ces outils en PME. En effet, nous ne pouvions assurer la pérennité des démonstrateurs dans le temps, les outils utilisés devaient donc permettre aux PME d'assurer elles-mêmes la maintenance des ces logiciels. La confrontation de ce démonstrateur avec l'expert permet de valider à la fois les besoins, les processus et le modèle de données. Cette confrontation se fait au fil de l'eau, par des essais du démonstrateur par les experts. Ces tests étant rendu possibles par le choix de développer le démonstrateur à l'intérieur même de l'entreprise. Si l'expert ne valide pas le démonstrateur final, il faut itérer la phase d'analyse de besoins. Le cycle en spirale des phases successives d'essais-erreurs permet d'obtenir une solution convenable.

Logigramme Figure 3-1 synthétise la méthode de modélisation proposée :

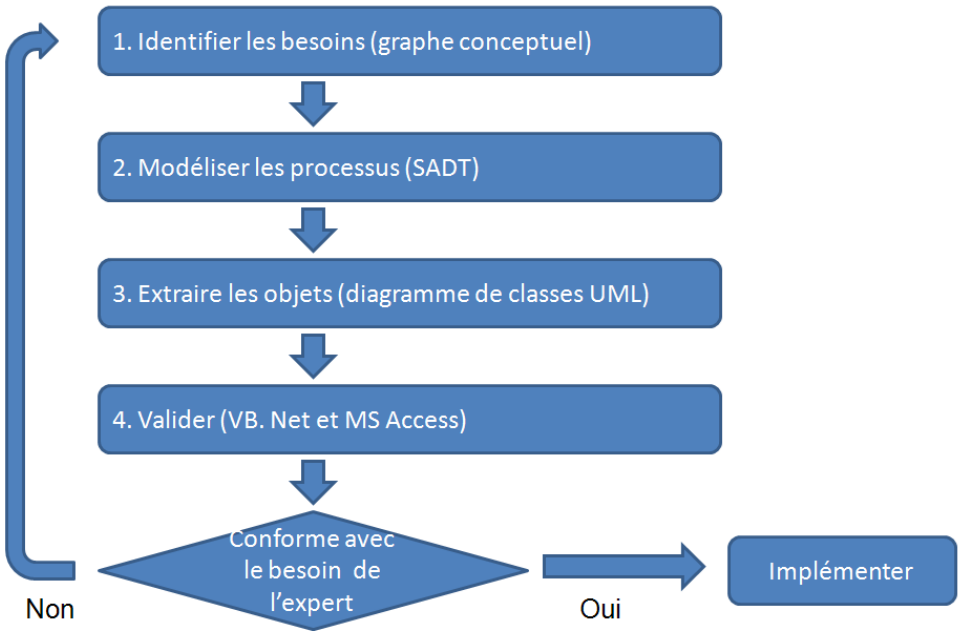


Figure 3-1: Logigramme de la méthode

Lors des étapes 1 et 2, il est nécessaire d'interagir avec l'expert afin d'obtenir son besoin et les processus à mettre en œuvre pour le réaliser. Or ce besoin peut soit être connu et apparaitre sous forme de demande, soit ne pas être connu explicitement et ne pas ressortir des interviews. C'est pourquoi une méthode inductive d'extraction de connaissance est mise en place. Ce type de démarche consistant en une immersion dans l'entreprise pour observer et prendre la place de l'expert est déjà largement éprouvé dans la littérature [BUC 94], [MER 98], [BLA 98].

Deux types de connaissances sont à extraire : les connaissances implicites et les connaissances explicites. Si les connaissances explicites peuvent être obtenues simplement par des interviews, les connaissances implicites demandent des échanges plus poussés. Afin d'obtenir ces informations nous avons utilisé deux méthodes :

- **Observation de l'expert dans l'exercice de sa fonction :** l'observation de l'expert permet d'avoir un premier aperçu de l'utilisation des informations techniques dans l'entreprise. Les conversations permettent de recueillir les connaissances explicites liées à l'utilisation des informations techniques dans son métier. Ces interviews se sont faites durant les mois d'immersion dans les entreprises pilotes. Elles se déroulaient directement avec l'expert face à une feuille où le modélisateur représentait la parole de l'expert dans le langage proposé par la méthode.

  Le fait de faire ces interviews durant la phase d'immersion a de nombreux avantages. Tout d'abord les interviews sont faites avec différents experts de l'entreprise pilote. Elles se sont faites après un temps d'immersion qui permet au modélisateur d'apprendre le langage de l'entreprise. De son coté l'expert a eu le temps de savoir qui est le modélisateur et pourquoi il est là. Enfin l'immersion permet de choisir des temps et des moments propices à l'interview.

- **La pratique du métier de l'expert :** afin d'approfondir les connaissances liées à l'utilisation de ces informations, le modélisateur prend ensuite directement la place de l'expert devant son poste de travail. Cela permet d'extraire une partie des connaissances implicites qui étaient sous-entendues ou non formalisées par l'expert.

3.2 Application de la méthode à trois entreprises pilotes

Ce paragraphe va permettre d'appréhender comment la méthode expliquée ci-dessus a été appliquée afin d'obtenir, pour trois entreprises différentes, un triplet besoins / processus / données.

Afin de couvrir le maximum des besoins des PME mécaniciennes, et au vu de l'impossibilité d'effectuer une réelle immersion dans un grand nombre de PME, il faut choisir des PME représentatives de l'ensemble des besoins en termes de travail collaboratif.

Trois entreprises ont été sélectionnées pour notre étude correspondant aux trois types de notre typologie. Il s'agit d'un fabricant de machines spéciales (SMP), d'un équipementier nautique (PSL Concept) et d'un fabricant de pièces primaires (Capricorn).

La première phase de notre méthode a été effectuée dans chacune de ces entreprises afin d'identifier les processus clés de la gestion d'informations techniques, les lacunes des processus actuels et ce que ces processus devraient devenir pour satisfaire pleinement les entreprises pilotes. Cela s'effectua sur plusieurs jours au sein des entreprises à observer. Cette phase d'observations a permis de donner une image de la situation actuelle. Elle a également permis de définir quelle devrait être la situation finale. Cet état cible sera le cahier des charges fonctionnel de notre système qui définit les besoins de ces entreprises en termes de PLM.

Des problèmes de gestion des nomenclatures et de structuration de produits sont identifiés chez le fabricant de machines spéciales (type équipementier). Le fabricant de composants nautiques (type composant) quant à lui connait des difficultés concernant la création de devis, la gestion des références et la création des géométries CAO. Enfin le fabricant de pièces primaires (type métier) veut intervenir sur les sujets de gestion de gammes de fabrication et d'automatisation de la documentation.

3.2.1 Entreprise de type équipementier : SMP

La première entreprise à être auditée est SMP. SMP est une entreprise qui fabrique principalement des centres d'affûtage et des plateaux tournants. Elle emploie 80 personnes dans la région de Bron (69). Elle revend ses centres d'affûtage à des entreprises de fabrication d'outils à l'échelle internationale. Cette PME est une entreprise de type équipementier. Nous avons choisi de nous intéresser aux centres d'affûtage pour régler les problématiques de gestion de nomenclatures de cette entreprise.

Définition d'un centre d'affûtage : (Figure 3-2) Un centre d'affûtage est une machine-outil, conventionnelle ou à commande numérique, qui permet la fabrication et l'affûtage d'outils à l'aide de meules. Les outils sont généralement des fraises, des forets, des alésoirs en acier ou en carbure. Les machines de chez SMP sont des centres d'affûtage à commande numérique qui sont équipées d'un ou plusieurs axes porte-outil et d'une table inclinable. Elles disposent de différents périphériques optionnels tels les centrales de filtration d'huile, les dispositifs anti-incendie...

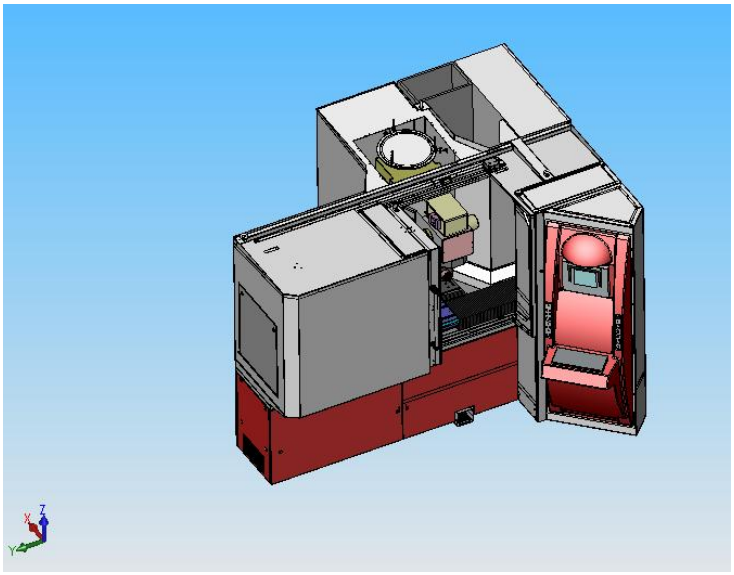


Figure 3-2: CAO d'un centre d'affûtage

La problématique de cette entreprise repose sur la double vue nécessaire sur ces nomenclatures de produit, à savoir la vue du bureau d'étude (BE) et la vue du bureau des méthodes (BM).

3.2.1.1 Identification du besoin

Cette entreprise a deux types de problématiques clairement identifiées: la gestion des nomenclatures et la structuration en modules des produits (Figure 3-3).

Le processus de gestion de nomenclatures se décompose comme suit :

- Création de la nomenclature BE à partir des informations de la CAO. La nomenclature CAO est rentrée manuellement dans un fichier par l'observation de l'assemblage CAO.
- Restructuration de la nomenclature par le BM. La nomenclature BE est imprimée puis envoyée aux méthodes qui effectuent des modifications à même le papier.
- Importation de la nomenclature BM dans l'ERP. La nomenclature BM est rentrée manuellement dans l'ERP à partir de la nomenclature papier modifiée.
- Mise à jour des modifications de la nomenclature BE dans la nomenclature BM.

Les produits ne sont pas structurés en modules mais à plat, sans hiérarchie particulière. L'approvisionnement et l'assemblage se font à la commande.

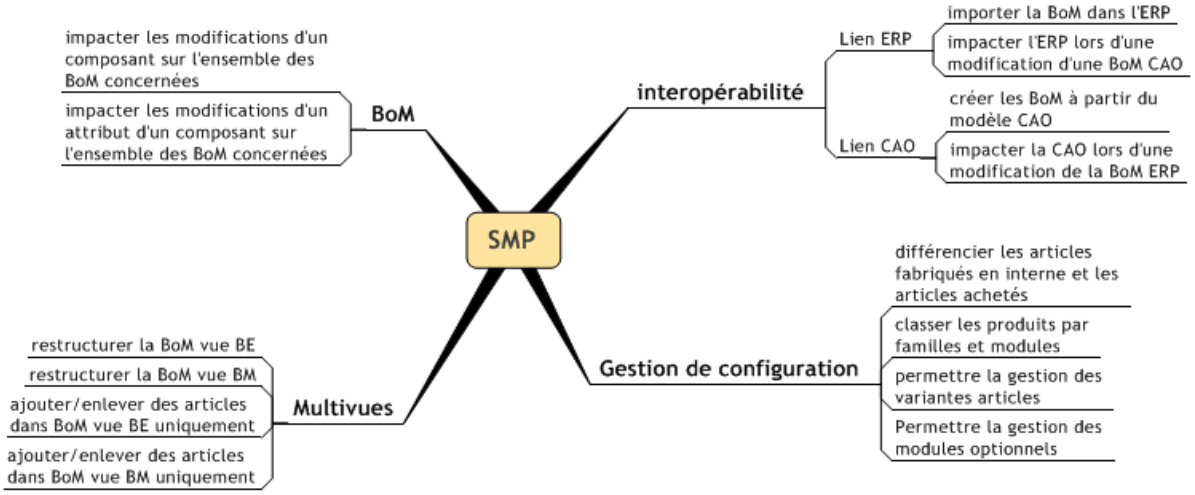


Figure 3-3: Carte de besoins SMP

SMP souhaite une automatisation du lien entre la CAO et l'ERP en ce qui concerne les nomenclatures produits c'est-à-dire :

- Remplissage automatique depuis le modèle CAO des attributs référence, fournisseur, quantité, référence fournisseur…
- Possibilité de restructuration de la nomenclature par les méthodes.
- Importation automatique dans la base ERP.
- Suivi des mises à jour.

Pour ce qui est des modules de produits, SMP souhaite pouvoir avoir un certain nombre de modules communs à tous les produits d'une famille. Cela doit permettre d'avoir des stocks sur certains modules et gagner ainsi en délais de livraison.

Ces besoins construits avec l'expert servent de base à l'élaboration des processus objectifs.

3.2.1.2 Modélisation des processus

Les processus modélisés ici sont les processus de transfert d'informations entre les phases de conception détaillée et de fabrication (Figure 3-4, Figure 3-5).

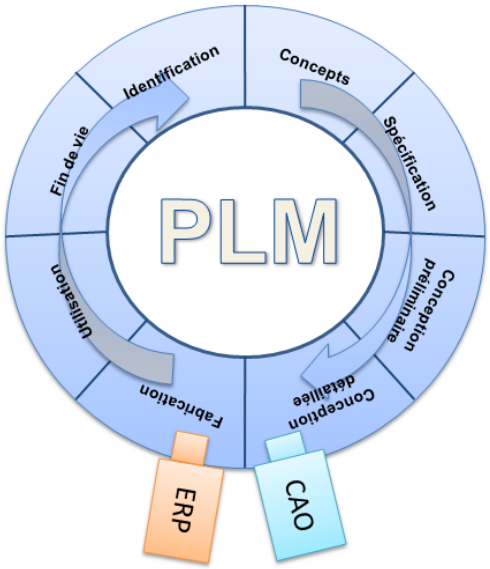


Figure 3-4: Cible du cas SMP sur le PLC

Tout d'abord les différentes informations requises par le BE et la production sont sélectionnées. Une liste de ces attributs pour chaque produit, assemblage et sous-assemblage est produite. Puis la nomenclature du BE est créée en extrayant de la CAO uniquement les attributs voulus et est restructurée en prenant comme modèle l'arborescence de la CAO. Ces informations sont ensuite copiées dans un fichier tampon. Une deuxième nomenclature est créée pour le BM, en extrayant les attributs du fichier tampon. La structure appliquée est cette fois-ci celle de l'ERP.

S'il y a une modification, les attributs du fichier tampon sont modifiés, permettant de mettre à jour les deux nomenclatures BE et BM. Si cette modification touche un sous-assemblage, toutes les nomenclatures contenant ce sous-assemblage seront automatiquement modifiées.

Le processus principal se décompose en trois activités (Figure 3-6) : créer la nomenclature à partir des données CAO, restructurer la nomenclature en fonction du bureau des méthodes et importer cette nomenclature dans l'ERP.

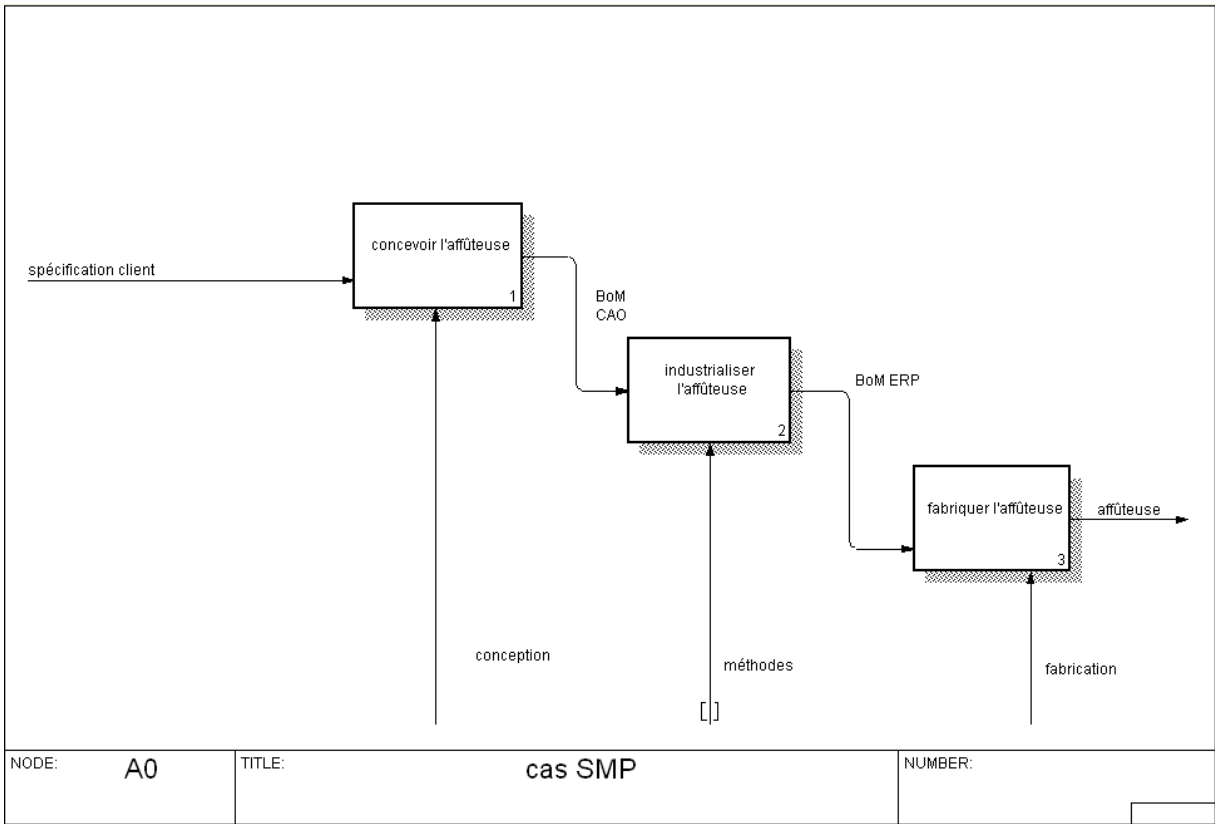


Figure 3-5: Processus de développement produit chez SMP

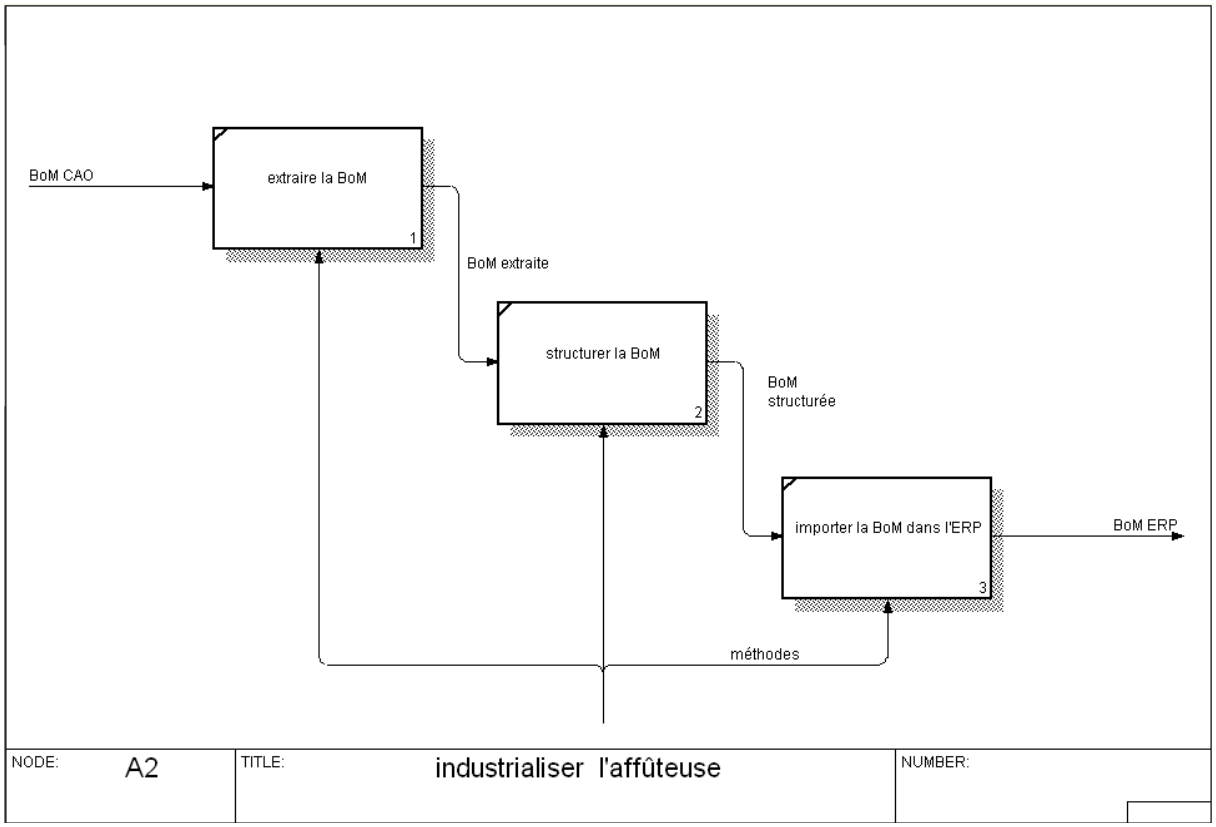


Figure 3-6: Processus cible chez SMP

3.2.1.3 Extraction des objets

Les intrants et les extrants des activités du processus décrit plus haut permettent de définir les documents nécessaires à leurs réalisations. Ces documents sont des représentations des objets d'entreprise mis en œuvre dans ces processus.

Les documents rencontrés sont les suivants :

- Fichiers CAO : assemblage, composant et module.
- Nomenclatures : BE et BM.

Ces documents doivent être rattachés aux objets d'entreprises qu'ils représentent.

Le modèle obtenu est présenté Figure 3-7.

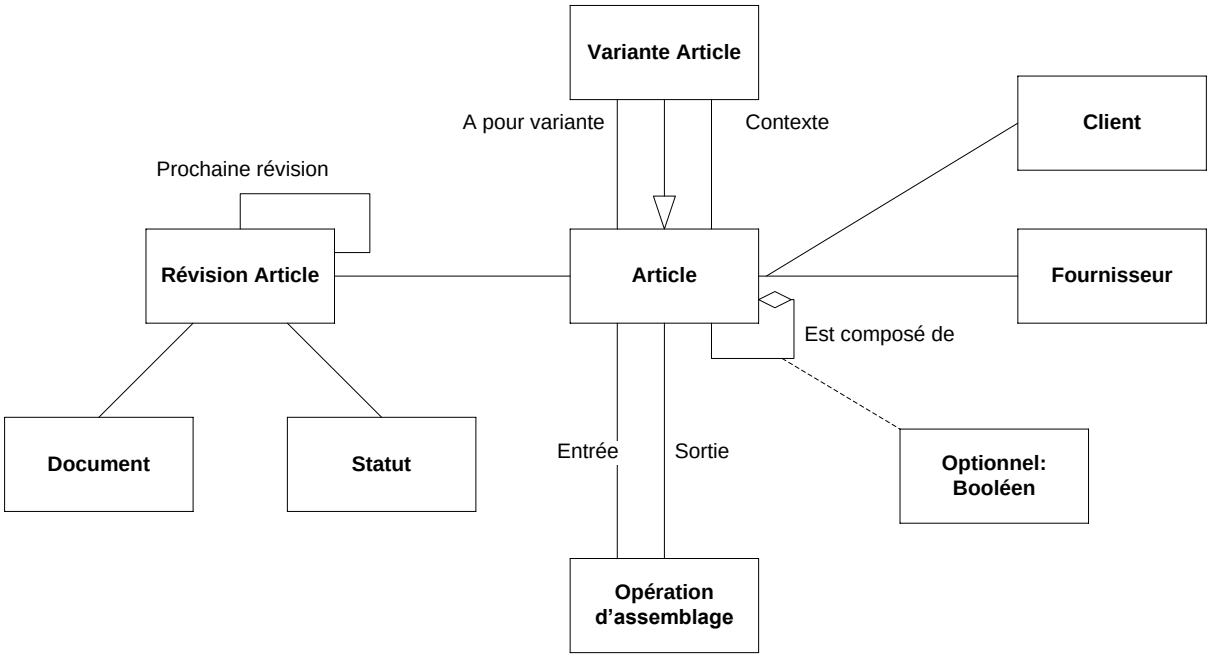


Figure 3-7: Modèle de données produit SMP

Les fichiers CAO des assemblages, des modules et des composants représentent les articles de l'entreprise. Les assemblages peuvent être construits pour un client en particulier, les modules et les composants par un fournisseur particulier.

Certains articles possèdent des variantes, il s'agit d'un composant pouvant remplacer un autre composant sans changer les fonctions de l'article composé. La variante article est donc liée à l'article qu'il peut remplacer et au contexte, c'est-à-dire l'article dont il est le composant.

La notion d'article optionnel est également présente, ceci permet d'obtenir une nomenclature unique pour plusieurs produits qui ne diffèrent que par l'addition de différentes fonctionnalités en ajoutant des sous-ensembles au produit initial.

Les nomenclatures BE et BM représentent les liens qui unissent les articles selon les vues BE et BM. La vue BE représente la structure CAO du produit, les liens qui unissent les composés et composants sont des liens article-article (Figure 3-8).

La vue BM représente la structure du produit pour le bureau des méthodes. Un article composé est l'union des articles composants résultant d'une opération d'assemblage (Figure 3-9).
Les révisions des articles marquent un changement majeur sur cet article. Deux révisions différentes d'un même article ne sont pas forcément interchangeables.

Enfin il ya des documents qui sont attachés aux articles, par example des plans, des modèles CAO… Un document peut être constitué de plusieurs documents. Les documents évoluent au fil du temps. Ils sont révisés et changent de statuts. Ils possèdent un statut indiquant la maturité du document. Ces statuts sont ici en cours de création, en cours de validation, validé ou obsolète.

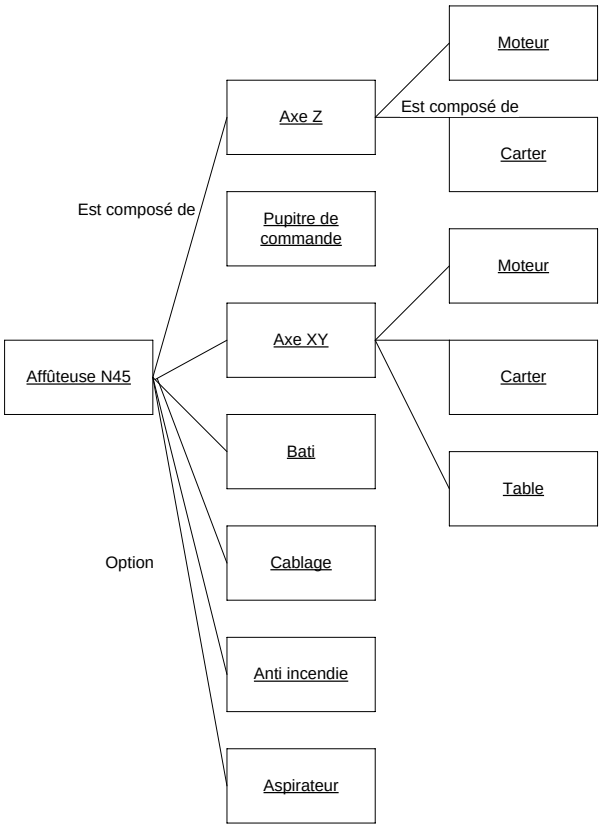


Figure 3-8: Décomposition d'une affûteuse vue BE

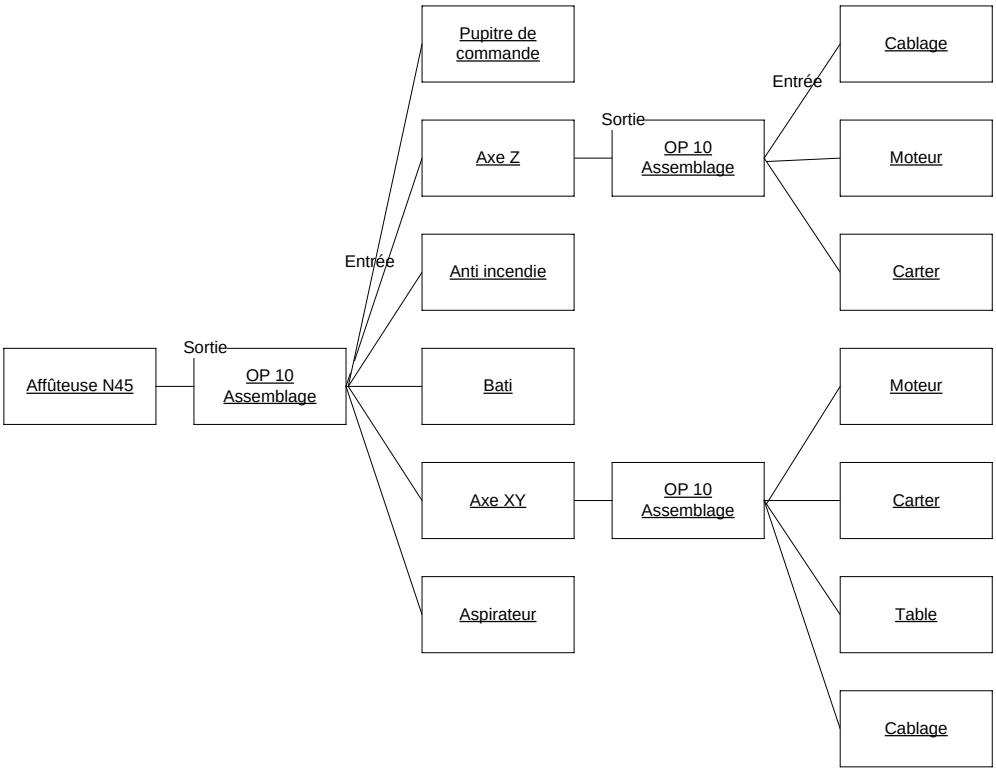


Figure 3-9: Décomposition d'une affûteuse vue ERP

L'entreprise produit chaque centre d'affûtage sur mesure. Chaque machine fait donc l'objet d'un projet pour sa conception. Un deuxième modèle (Figure 3-10), concernant les projets est donc ajouté au modèle produit. Le modèle projet permet de définir les tâches du projet, les personnes impliquées ainsi que les livrables à fournir.

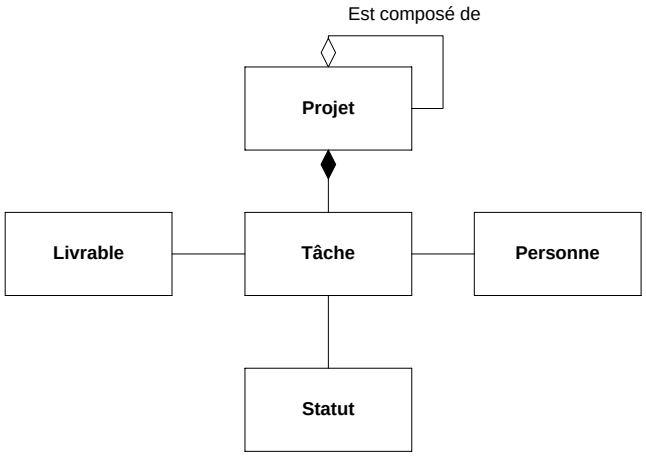


Figure 3-10: Modèle de données projet SMP

Un projet est constitué de sous-projets. Les éléments élémentaires de ces projets sont des tâches. A chaque tâche correspond un livrable, le plus souvent assimilable à un document. Pour chaque tâche, les personnes en charge de la réalisation de la tâche sont indiquées.

3.2.1.4 Validation

Le lien entre CAO et ERP est automatisé dans un logiciel ayant pour base une nomenclature tampon (Figure 3-11).

Les attributs sont directement remplis dans la CAO. La nomenclature du BE est extraite du modèle CAO en utilisant un démonstrateur VB.Net et les API[38] de la CAO SolidWorks[39]. Pour la production, le démonstrateur extrait la liste d'attributs de la CAO et remplit un fichier dans un tableur Excel (Figure 3-12). L'opérateur peut alors structurer sa nomenclature en accord avec les besoins de la production, sans pour autant rompre le lien dynamique avec les attributs du modèle CAO que crée le démonstrateur.

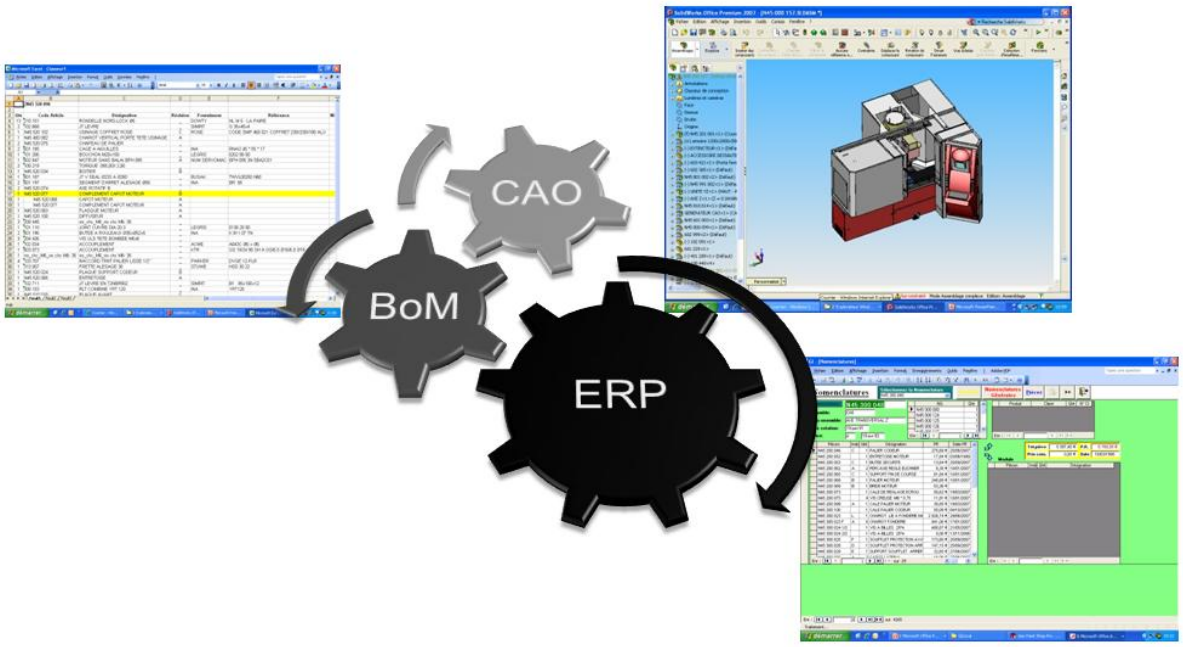
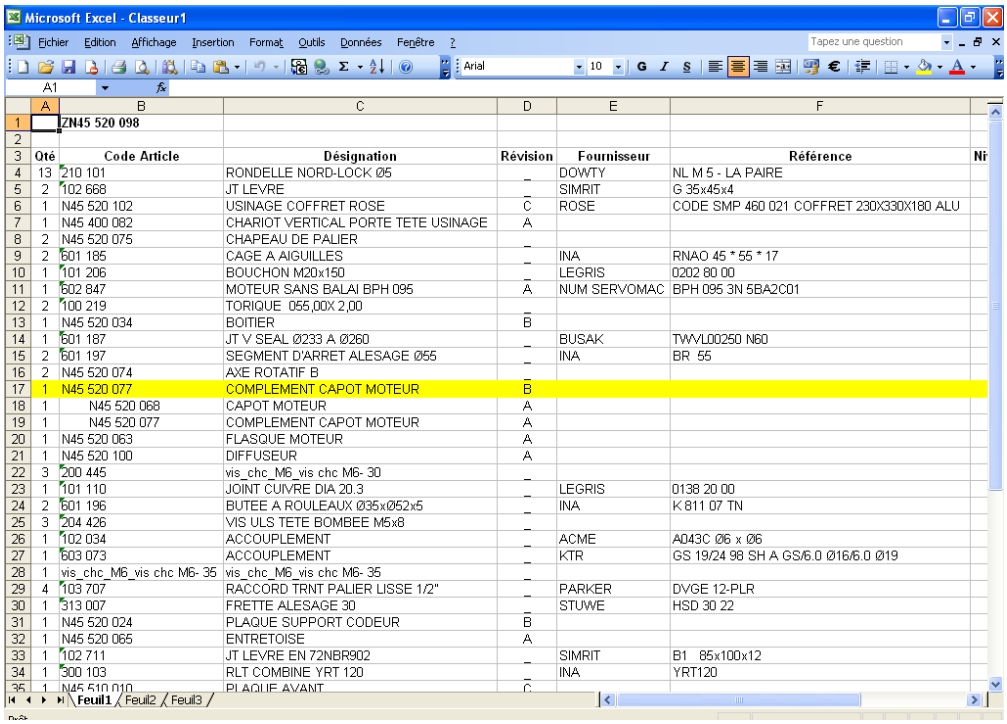


Figure 3-11: Principe de fonctionnement du démonstrateur

[38] Application Programming Interface

[39] Site de SolidWorks, http://www.solidworks.com, consulté le 19/02/2010.



Microsoft Excel - Classeur1

	A	B	C	D	E	F
1		ZN45 520 098				
2						
3	Qté	Code Article	Désignation	Révision	Fournisseur	Référence
4	13	210 101	RONDELLE NORD-LOCK Ø5	_	DOWTY	NL M 5 - LA PAIRE
5	2	102 668	JT LEVRE	_	SIMRIT	G 35x45x4
6	1	N45 520 102	USINAGE COFFRET ROSE	C	ROSE	CODE SMP 460 021 COFFRET 230X330X180 ALU
7	1	N45 400 082	CHARIOT VERTICAL PORTE TETE USINAGE	A		
8	2	N45 520 075	CHAPEAU DE PALIER	_		
9	2	601 185	CAGE A AIGUILLES	_	INA	RNAO 45 * 55 * 17
10	1	101 206	BOUCHON M20x150	_	LEGRIS	0202 80 00
11	1	602 847	MOTEUR SANS BALAI BPH 095	A	NUM SERVOMAC	BPH 095 3N 5BA2C01
12	2	100 219	TORIQUE 055,00X 2,00	_		
13	1	N45 520 034	BOITIER	B		
14	1	601 187	JT V SEAL Ø233 A Ø260	_	BUSAK	TWVL00250 N60
15	2	601 197	SEGMENT D'ARRET ALESAGE Ø55	_	INA	BR 55
16	2	N45 520 074	AXE ROTATIF B	_		
17	1	N45 520 077	COMPLEMENT CAPOT MOTEUR	B		
18	1	N45 520 068	CAPOT MOTEUR	A		
19	1	N45 520 077	COMPLEMENT CAPOT MOTEUR	A		
20	1	N45 520 063	FLASQUE MOTEUR	A		
21	1	N45 520 100	DIFFUSEUR	A		
22	3	200 445	vis_chc_M6_vis chc M6- 30	_		
23	1	101 110	JOINT CUIVRE DIA 20.3	_	LEGRIS	0138 20 00
24	2	601 196	BUTEE A ROULEAUX Ø35xØ52x5	_	INA	K 811 07 TN
25	3	204 426	VIS ULS TETE BOMBEE M5x8	_		
26	1	102 034	ACCOUPLEMENT	_	ACME	A043C Ø6 x Ø6
27	1	603 073	ACCOUPLEMENT	_	KTR	GS 19/24 98 SH A GS/6.0 Ø16/6.0 Ø19
28	1	vis_chc_M6_vis chc M6- 35	vis_chc_M6_vis chc M6- 35	_		
29	4	103 707	RACCORD TRNT PALIER LISSE 1/2"	_	PARKER	DVGE 12-PLR
30	1	313 007	FRETTE ALESAGE 30	_	STUWE	HSD 30 22
31	1	N45 520 024	PLAQUE SUPPORT CODEUR	B		
32	1	N45 520 065	ENTRETOISE	A		
33	1	102 711	JT LEVRE EN 72NBR902	_	SIMRIT	B1 85x100x12
34	1	300 103	RLT COMBINE YRT 120	_	INA	YRT120
35	1	N45 510 010	PLAQUE AVANT	C		

Feuil1 / Feuil2 / Feuil3 /

Figure 3-12: Nomenclature Excel

La confrontation de l'application avec l'expert permet de valider le triplet besoins / processus / objets.

3.2.1.5 Conclusion sur SMP

Ce cas d'étude nous a permis d'identifier les informations techniques qui sont transférées entre le BE et le BM dans cette entreprise. Il nous a également permis d'acquérir les connaissances nécessaires à leur transfert et tout spécialement en ce qui concerne la gestion des multi-vues sur un produit. Nous avons géré cette notion de multi-vues en passant par un fichier tampon qui contient toutes les informations, la structure du produit étant quant à elle spécifique à chaque vue.

3.2.2 Entreprise de type composant : PSL Concept

PSL concept est une entreprise qui fabrique de l'accastillage pour voiliers. Elle revend des sous-ensembles pour les voiliers, plus particulièrement toutes sortes de transmissions pour bouts (poulies, palans…). Cette jeune entreprise, créée en 2006, cible à la fois les particuliers et les fabricants de voiliers tel Bénéteau, Jeanneau, etc.… Cette entreprise est une entreprise de type composant. Nous nous sommes intéressé à une famille de produits importante pour l'entreprise : les poulies.

Définition d'une poulie : (Figure 3-1) Une poulie standard est constituée de deux flasques (1), d'un ou plusieurs réas (2), de visserie et de différents accessoires comme par exemple des taquets coinceurs. Le bout (corde pour voilier) vient se loger dans la gorge du réa afin de transmettre le mouvement. Les flasques offrent de nombreuses options comme la possibilité de rajouter des guides (4) ou des ringots (5) pour permettre de maintenir le contact des bouts sur le réa dans certaines conditions d'utilisations, différentes ouvertures (3) pour maintenir la poulie ou des renforts pour consolider l'ensemble.

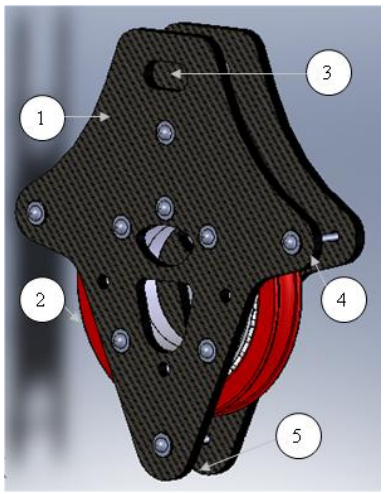


Figure 3-13: Description d'une poulie

3.2.2.1 Identification du besoin

PSL concept est une entreprise qui éprouvait des difficultés à gérer la diversité de ses produits. Lors de la première étape de modélisation, plusieurs sujets sont ressortis : la gestion des références, la création de devis et la gestion des géométries CAO de ses produits (Figure 3-14).

- Création de devis faite « sur un coin de table ».
- Référencement des pièces fait par incrémentation sur chaque type de pièce.
- Gestion des géométries CAO faite à plat dans un dossier partagé.
- Gestion des familles de produits : les produits réels sont catégorisés par familles (poulies, palans, réas…), mais il n'y a pas de liens avec les artefacts virtuels qui leurs sont raccrochés.

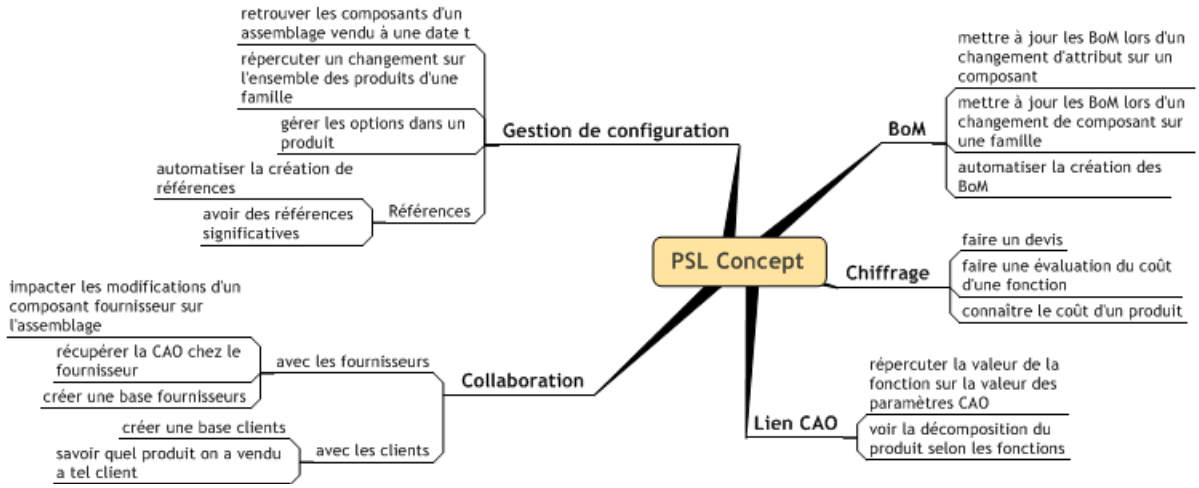


Figure 3-14: Carte de besoins PSL Concept

PSL concept souhaite piloter la complexité de cette forte diversité à partir des fonctions de ses produits. Pour cela elle désire un système permettant de choisir les fonctions (dans une liste prédéfinie) et d'obtenir ainsi un ensemble d'objets intermédiaires et d'informations.

- Choix des fonctions du produit.
- Réalisation d'un devis.
- Ouverture des références.
- Création de la modélisation 3D du produit.
- Création des plans 2D.
- Réalisation de la nomenclature vue BE.

Les besoins exprimés servent à définir, avec les experts, les processus à mettre en place dans l'entreprise.

3.2.2.2 Modélisation des processus

Les processus modélisés ici sont les processus de conception et les flux d'informations de la définition fonctionnelle du produit à sa conception détaillée en CAO (Figure 3-15).

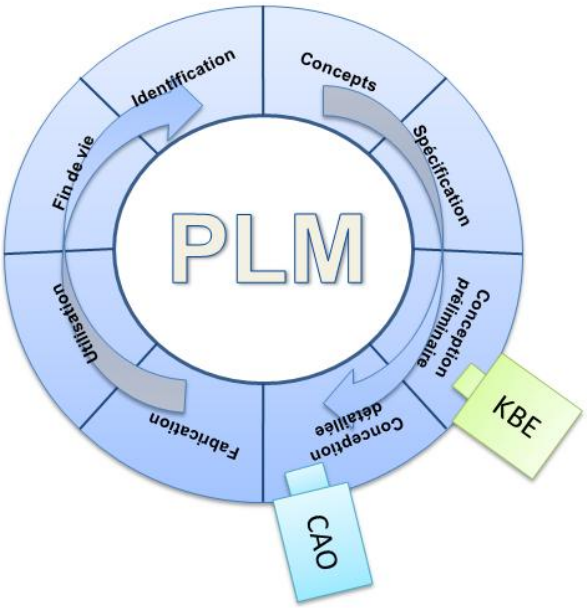


Figure 3-15: Cible du cas PSL Concept sur le PLC

Nous avons recherché à organiser les informations d'une famille de produits. Tous les produits d'une famille peuvent être définis en combinant les différentes fonctions de la famille en question. Une organisation des informations par fonctions est efficace pour lier les paramètres de conceptions et les fonctions de ce produit. Les informations techniques sont alors gérées de manière globale, pilotées par les fonctions.

Nous avons utilisé les relations entre paramètres fonctionnels et paramètres de conception de l'Axiomatic Design [SUH 90], [SUH 00], [HAR 96] pour le décliner à la structuration et la gestion d'informations techniques d'une famille de produits. En effet, l'utilisation des axiomes de Suh, notamment l'axiome d'indépendance « maintenir l'indépendance des spécifications fonctionnelles » permet d'obtenir que l'impact d'un changement de paramètres de conception est directement visible sur les spécifications fonctionnelles. Ainsi lors de la modification d'un paramètre de conception, l'utilisateur peut savoir en direct s'il est toujours conforme au cahier des charges ou s'il sort des limites.

Les différentes fonctions de la famille ont été décomposées (Figure 3-16). Un paramétrage fonctionnel des produits a été effectué afin de relier les paramètres de conception aux différentes fonctions (Figure 3-17). Un lien dynamique entre les paramètres fonctionnels de la famille de produits et les paramètres de conception de l'ensemble des produits de la famille est ainsi obtenu.

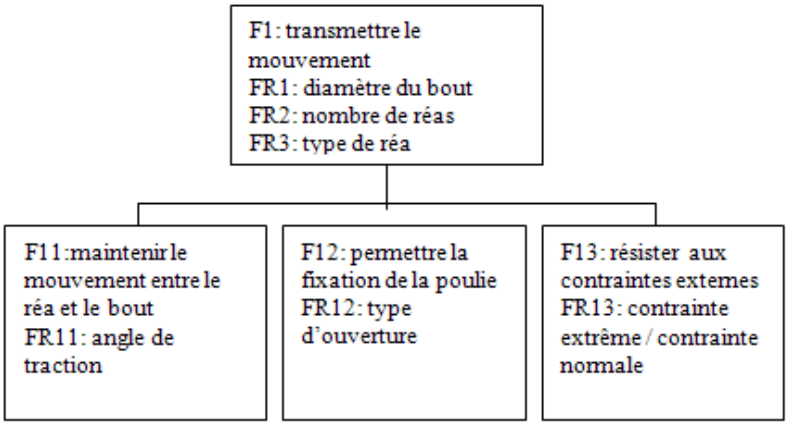


Figure 3-16: Décomposition fonctionnelle d'une poulie

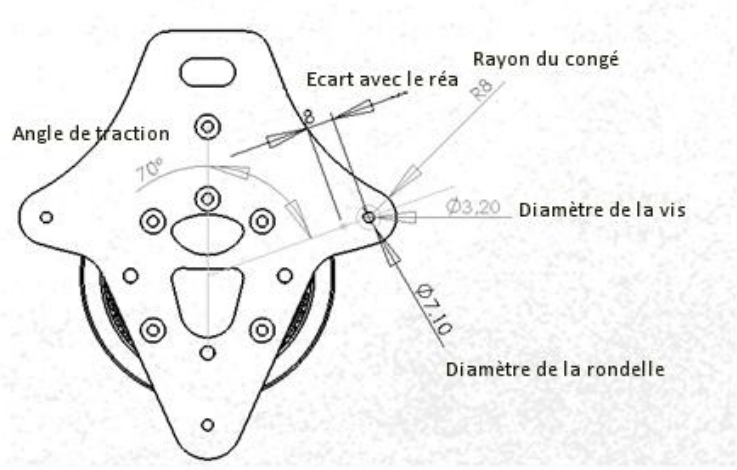


Figure 3-17: Quelques paramètres de conception d'une poulie

Le changement d'un paramètre fonctionnel entrainera le changement des valeurs des paramètres de conception qui lui sont reliés. Ainsi le changement d'un paramètre fonctionnel sera répercuté sur l'ensemble de la famille de produits (Figure 3-18).

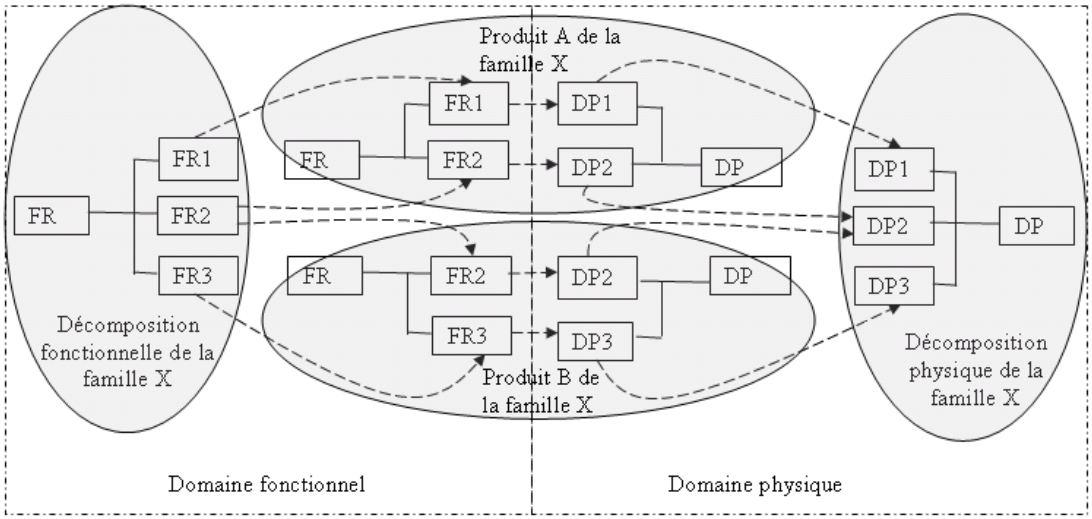


Figure 3-18: Décomposition d'une famille de produits

Sur cette base un certain nombre de processus sont mis en place pour répondre aux besoins PLM de cette entreprise.

Capitalisation des connaissances métier : lors du changement de la règle de calcul d'un paramètre de conception du produit, le nouveau paramètre est utilisé pour tous les produits utilisant la fonction liée. Il n'y a plus de perte d'informations lors de l'amélioration d'un produit puisque ce n'est plus la pièce que l'on améliore mais directement la définition du paramètre de conception. Toute la famille de produits bénéficie ainsi de l'amélioration.

Références : afin de ne pas avoir à ouvrir l'ensemble des références possibles sans avoir à produire les produits associés, un système de références significatives basé sur les fonctions de la famille de produits est mis en place. Cela permet qu'un produit qui n'a jamais été fabriqué auparavant (une combinaison inédite de fonctions) obtienne automatiquement une référence prédéterminée en liaison avec les fonctions spécifiées.

Devis : chaque fonction a un coût calculable à partir des paramètres fonctionnels du produit fini. Ainsi, dès la définition fonctionnelle du produit, un coût global est obtenu en additionnant les coûts des fonctions du produit.

Archivage : avec un enregistrement des anciennes valeurs des paramètres fonctionnels et des dates de modification de ces paramètres, la CAO exacte d'un produit peut être retrouvée en reprenant les paramètres à la date de vente du produit (prise en compte de l'effectivité au niveau fonctionnel).

Les processus sont ensuite formalisés sous forme de SADT (Figure 3-19).

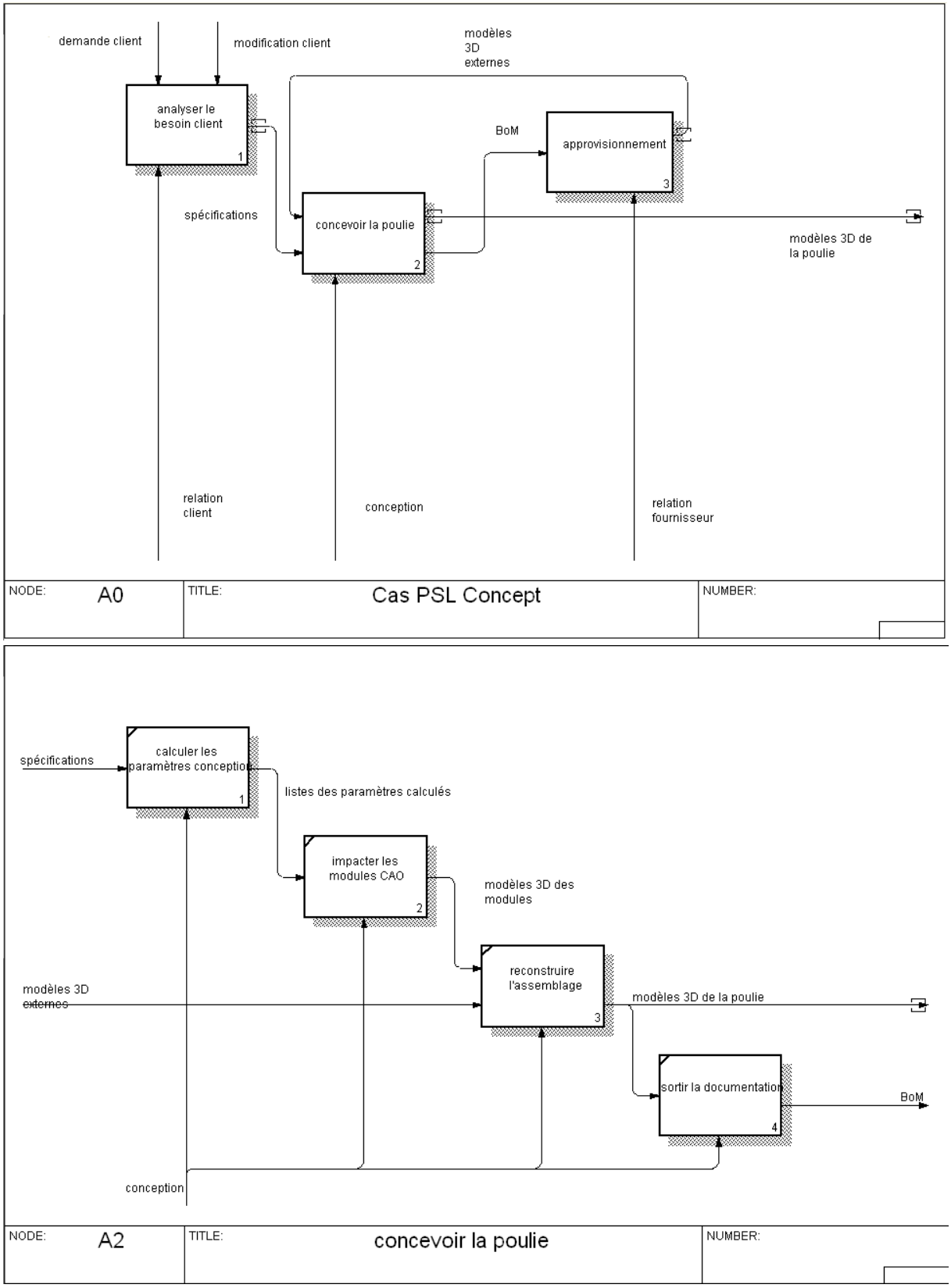


Figure 3-19: Processus PSL Concept

Le processus principal se décompose en quatre activités : analyser le besoin client, concevoir la géométrie, acheter les pièces et fabriquer la poulie.

3.2.2.3 Extraction des objets

En analysant les intrants et les extrants des activités présentes dans les processus définis, les documents suivants ont été extraits : Cahier des charges fonctionnel, fichier CAO d'assemblage, fichier CAO de composant, plan 2D, nomenclature. Le modèle qui en découle est présenté Figure 3-7.

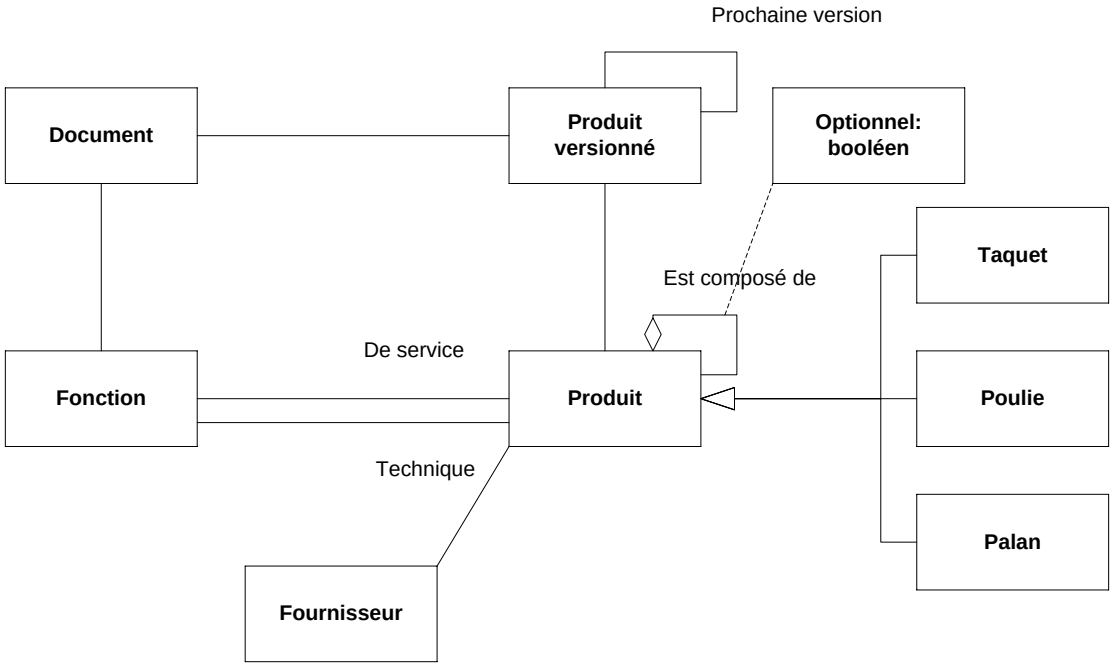


Figure 3-20: Modèle de données PSL Concept

Les fichiers CAO sont répartis selon les familles de produits, ici les poulies, les palans et les taquets.

L'évolution des produits se fait au travers d'une montée en version pour chaque modification majeure du produit. Les composants peuvent soit être des sous-produits fabriqués en interne, soit être des composants achetés, auquel cas ils sont alors liés à un fournisseur.

Les produits réalisent des fonctions qui sont issues du cahier des charges. Les fonctions peuvent être fonction de service ou fonction technique. Les fonctions techniques d'un produit deviennent les fonctions de services des composants. Une décomposition fonctionnelle du produit est ainsi effectuée qui permet une structure fonctionnelle différente de la vue classique produit-composants (Figure 3-21, Figure 3-22).

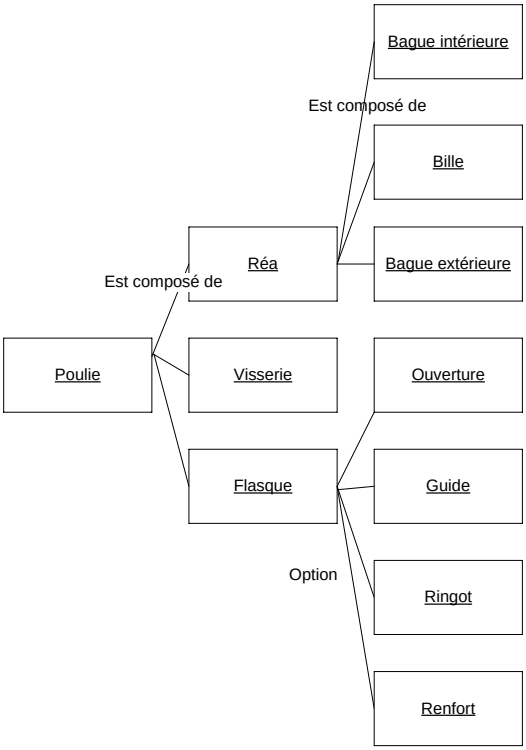


Figure 3-21: Décomposition structurelle d'une poulie

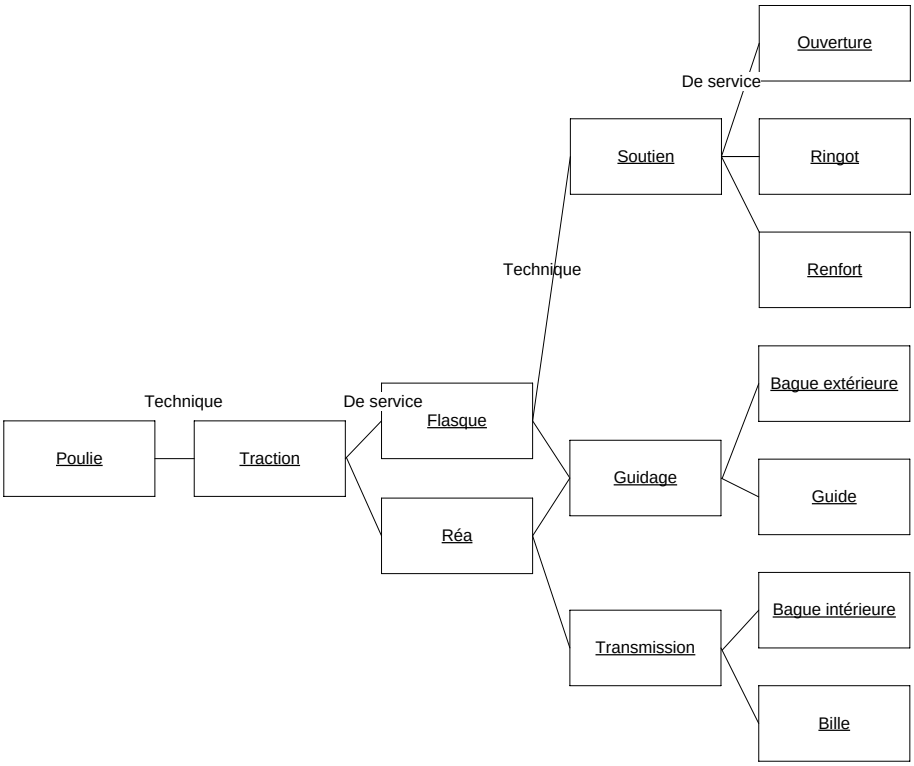


Figure 3-22: Décomposition fonctionnelle d'une poulie

3.2.2.4 Validation

Un développement a été effectué pour automatiser la conception CAO des poulies à partir du choix des fonctions (Figure 3-23).

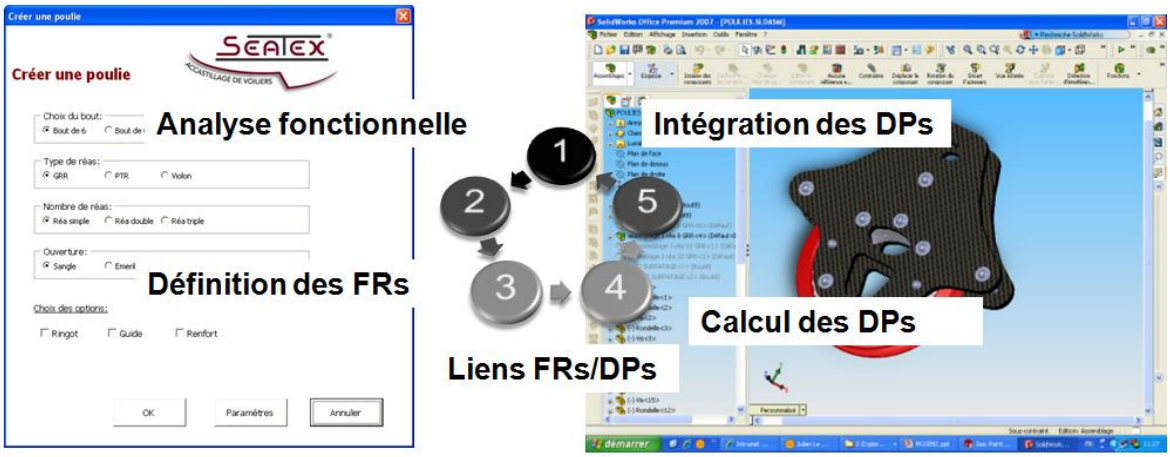


Figure 3-23: Principe de fonctionnement du démonstrateur

Pour ce faire nous avons tout d'abord effectué une décomposition fonctionnelle des poulies. Nous avons ainsi obtenu une liste de fonctions et de paramètres fonctionnels. Puis un certain nombre d'options ont été définies et reliées avec les fonctions définies précédemment (Tableau 3-1) afin d'obtenir des valeurs discrètes pour les paramètres fonctionnels.

Fonctions	Options	Choix
Fonctionnement générale	Taille du bout	Bout de 6 Bout de 8 Bout de 10 Bout de 12
	Type de réa	Grand réa Petit réa Violon
	Nombre de réas	Réa simple Réa double Réa triple
Permettre l'attache de la poulie	Type d'ouverture	Sangle Émerillon Étalingure Manille
Assurer le maintient du bout	Ringot	Oui Non
	Guide	Oui Non
Résister aux contraintes extérieures	Renfort	Oui Non

Tableau 3-1: Liens entre fonctions et options

Nous avons ensuite effectué une cotation fonctionnelle des différentes parties de la poulie et l'ensemble de ces paramètres est rentré dans la CAO. Les paramètres sont regroupés selon les différentes fonctionnalités de la poulie pour obtenir un lien entre les fonctions de la poulie et les paramètres sur le modèle CAO (Tableau 3-2).

Paramètres	valeur	unité	Fonction associée
longueur plaque	300	mm	paramètres du brut (toujours présent)
largeur plaque	300	mm	
épaisseur plaque	3,5	mm	
diamètre réa	84	mm	paramètres du bout
nombre de trous réa	8	unités	
rayon1 ringot	10	mm	paramètres du ringot
rayon2 ringot	11	mm	
congé ringot	12	mm	
angle guide	70	°	paramètres du guide
écart guide	8	mm	
congé guide	8	mm	
distance émerillon	5,45	mm	paramètres de l'ouverture selon le choix (émerillon / manille /étalingure / sangle)
distance manille	4	mm	
distance étalingure	8	mm	
longueur étalingure	16	mm	
largeur étalingure	8	mm	
distance sangle	8,3	mm	
longueur sangle	8	mm	
largeur sangle	16	mm	
rayon1 évacuation	12	mm	paramètres de l'évacuation (toujours présent)
rayon2 évacuation	8	mm	
congé1 évacuation	3	mm	
congé2 évacuation	3	mm	
diamètre vis	3,2	mm	paramètres visserie (toujours présent)
diamètre rondelle	7,1	mm	

Tableau 3-2: Paramètres de conception et options associées

La valeur de ces paramètres est calculée selon les règles définies avec l'entreprise et les valeurs des paramètres fonctionnels. D'autres cotes sont nécessaires à l'obtention du modèle CAO, mais il s'agit de paramètres de dimensionnement proportionnels aux paramètres cités dans le Tableau 3-2. Nous obtenons alors un unique fichier CAO paramétrable qui permet de représenter l'ensemble de la famille des poulies. Les paramètres et les relations les liant sont provisoirement stockés dans un tableur. Ils seront par la suite stockés dans la base de données du PLM.

Le référencement des flasques et des poulies a été automatisé. C'est-à-dire que la référence de la pièce ou de l'assemblage est automatiquement affichée sur les plans et la nomenclature, même s'il s'agit d'une pièce nouvelle (jamais produite auparavant). De plus nous avons ajouté une fonctionnalité qui permet de sortir automatiquement la nomenclature issue de la CAO lors de la création de la poulie. Un système de création de plan, là encore automatisé, a aussi été

ajouté pour garder une trace de la poulie produite. Un tableau estimant le coût de chaque fonction de la poulie en fonction du nombre et de la taille des réas a complété le développement. En additionnant l'ensemble des coûts des fonctions, nous avons obtenu un coût global de la poulie. Du fait de l'ensemble des solutions apportées, le temps de conception de ces poulies a été réduit par cinq.

Le programme mis en place permet, à partir des besoins fonctionnels du client, de sortir la CAO d'une poulie, la nomenclature, les plans, l'ouverture éventuelle de nouvelles références et le coût de la poulie. Ceci se fait à partir de la gestion d'un fichier CAO unique qui sert de base à l'obtention de l'ensemble de la famille de produits (1200 références).

Le programme répond aux attentes des experts et couvre la majorité des besoins exprimés. De ce fait, les modèles de processus et de données sont en adéquation avec les besoins de cette entreprise.

3.2.2.5 Conclusion sur PSL Concept

L'application de la méthode de modélisation proposée a permis de ressortir une carte de besoins, un modèle de données et de processus pour cette entreprise. L'application des modèles par l'automatisation des tâches et son approbation par les experts valident les trois livrables.

Cependant il faut remarquer que nous avons choisi délibérément une famille de produits dont la maturité était élevée. On peut légitimement se poser la question d'une application pour des produits dont la courbe d'apprentissage n'a pas encore été parcourue au vu des nombreux coefficients liant paramètres fonctions et paramètres conception obtenus empiriquement.

3.2.3 Entreprise de type métier : Capricorn

Capricorn est une entreprise de 70 personnes fabriquant des composants pour l'automobile haut de gamme. Son expertise se situe autour des pièces mobiles du moteur (vilebrequin, piston..). Basé à Saint Etienne, elle a pour clients les grands constructeurs automobiles du monde entier (Porsche, PSA, GM…) engagés dans des courses comme la F1, les 24H du Mans, le Nascar… Cette entreprise est une entreprise de type métier. L'automatisation de certaines phases de création de gammes de fabrication a été étudiée dans cette entreprise. L'exemple suivant s'appuie sur les vilebrequins, produit principal de cette entreprise.

Définition d'un vilebrequin : (Figure 3-24) Le vilebrequin donne le mouvement rotatif nécessaire au moteur. Il est relié à la bielle qui lui transmet un mouvement alternatif. C'est le vilebrequin qui entraîne tous les éléments du moteur qui ont besoin d'un mouvement rotatif comme la transmission primaire (chaine de distribution ou cascade de pignons ou courroie,

arbre à cames...), les pompes (à eau, à huile), l'alternateur et éventuellement les contre-arbres d'équilibrage.

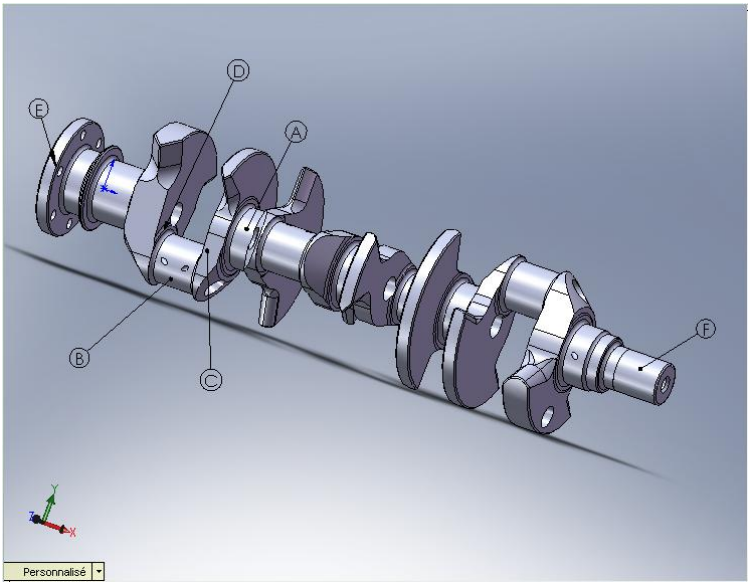


Figure 3-24: Description d'un vilebrequin

Le vilebrequin est composé:

- de paliers (A) : c'est l'axe de rotation qui repose sur le carter moteur.
- de manetons (B) : ils sont liés aux têtes de bielles.
- de bras ou contrepoids (C) : ils assurent la liaison entre les paliers et les manetons, permettent au vilebrequin de passer les temps morts (sans "explosion") du moteur grâce à son inertie.
- de rosaces (D) : ces faces particulières des bras servent à maintenir la bielle et à dégager les bras pour la fabrication.
- d'un plateau (E) : c'est l'extrémité du vilebrequin qui se fixe sur l'embrayage.
- d'une fusée (F) : c'est l'autre extrémité du vilebrequin qui entraîne les autres éléments du moteur.

3.2.3.1 Identification du besoin

Lors de la première étape de la méthode chez Capricorn, les besoins en gestion d'informations de cette entreprise fabriquant des pièces primaires se concentrent autour de la gestion de gammes de fabrication et de l'automatisation de la documentation (Figure 3-25).

La conception des gammes de fabrications suit la procédure suivante :

- Création des gammes opération par opération.
- Attribution des postes de charge.
- Simulation FAO pour chaque opération.
- Génération de code ISO si besoin.

L'automatisation de la documentation quant à elle inclut trois phases:

- Création des plans de phases à partir de la CAO, en reproduisant la CAO de chaque intermédiaire, du brut au produit final.
- Distribution des plans papiers.
- Mise à jour des plans directement sur le papier.

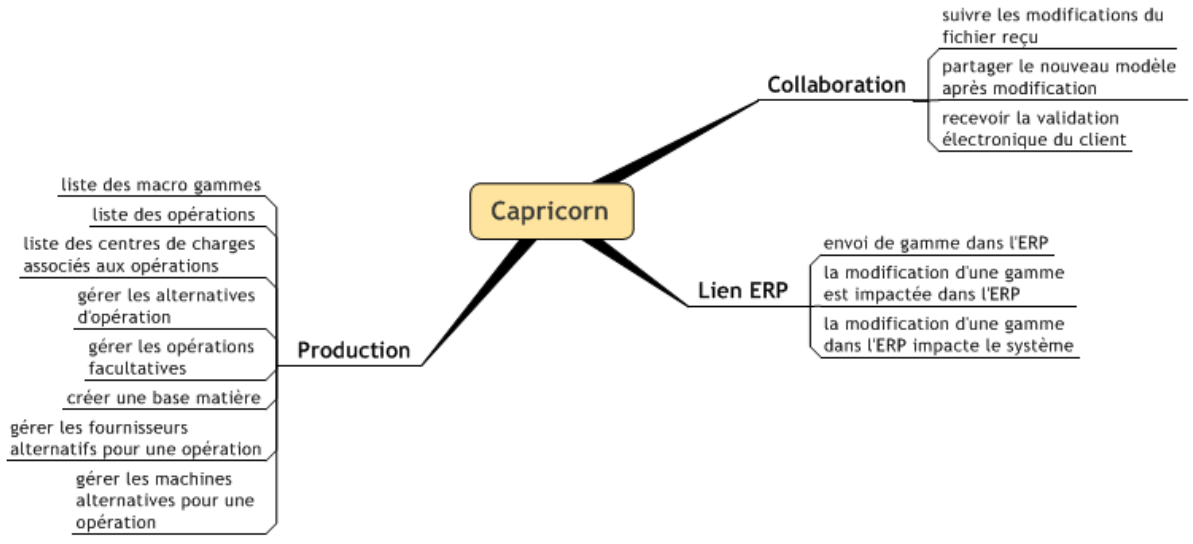


Figure 3-25: Carte de besoins Capricorn

Capricorn souhaite que la gestion des gammes se fasse de la manière suivante :

- Création de pattern de gamme pour chaque famille de produits.

- Création des opérations standards.
- Modélisation des postes de charge.
- Création de règles entre opérations, postes de charge et produits.

L'automatisation de la documentation inclura :

- Création des plans de phases à partir de la CAO.
- Centralisation de ces plans grâce à un système de gestion des droits d'accès.
- Mise à jour automatique des plans.

Les besoins servent de base à l'élaboration des processus objectifs effectuée en collaboration avec les experts de l'entreprise.

3.2.3.2 Modélisation des processus

Le processus étudié est la création d'une gamme de fabrication d'un vilebrequin (Figure 3-26).

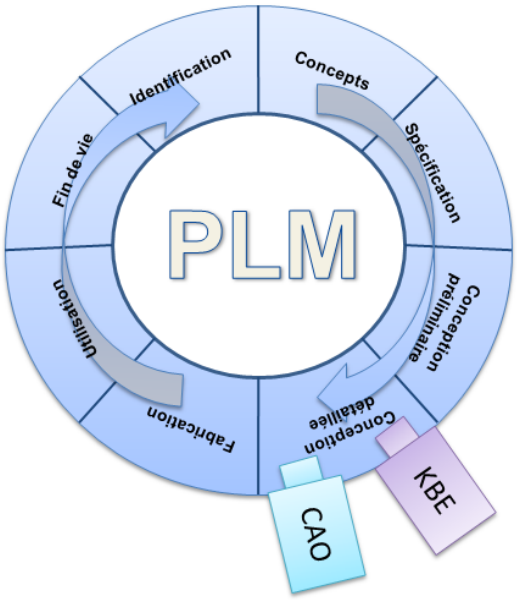


Figure 3-26: Cible du cas Capricorn sur le PLC

Les macros-gammes sont déjà connues et formalisées dans cette entreprise. Dans chaque opération de ces macro-gammes, les informations utilisées sont relatives aux faces du produit, aux postes de charge et aux règles métiers.

Le dossier de fabrication est déduit de ces opérations. Il contient les définitions des différentes opérations des gammes, des outils et des conditions de coupe associées. Puis ces documents sont sauvegardés et envoyés dans un format sécurisé à la production.

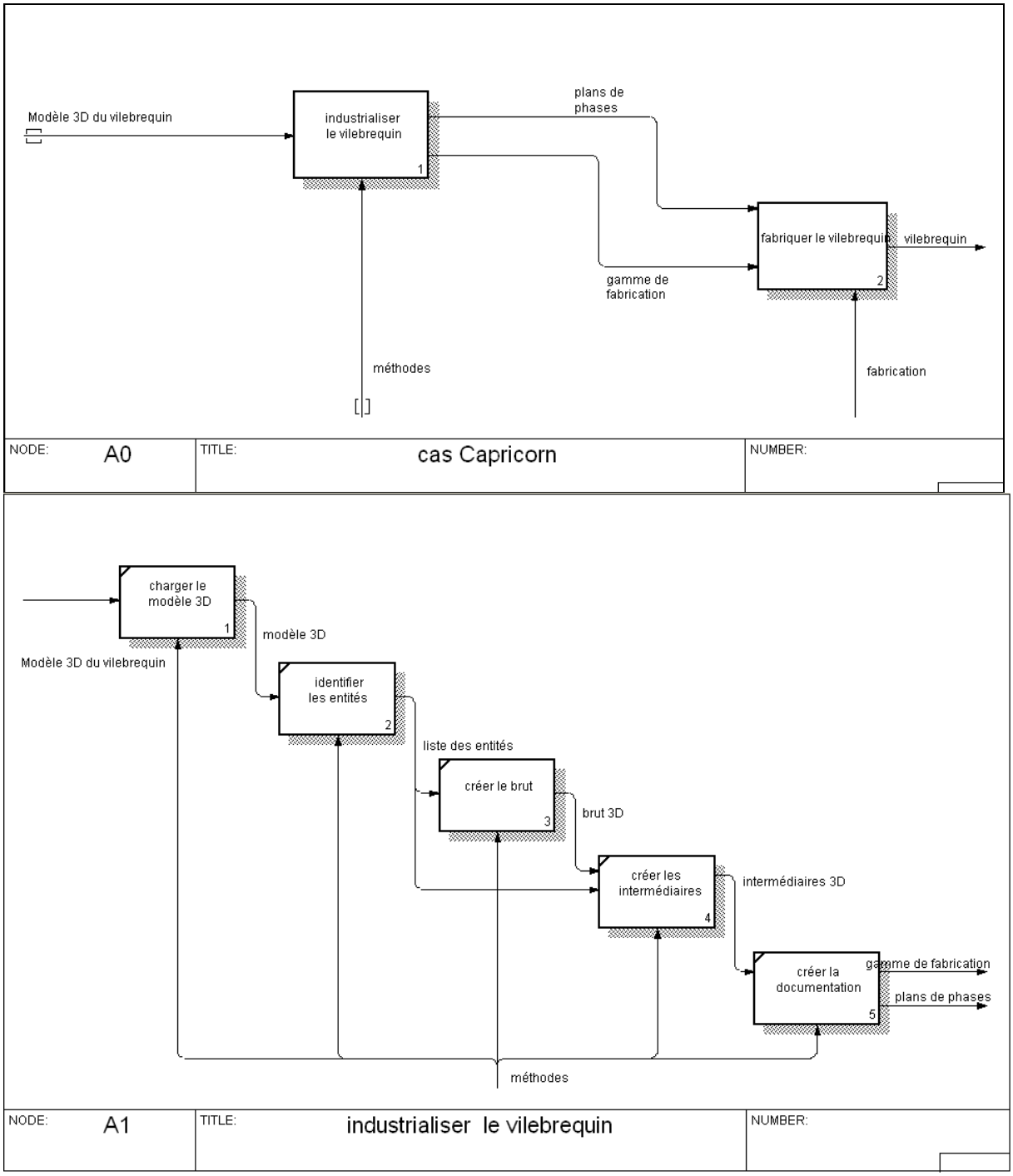


Figure 3-27: Processus Capricorn

Le processus principal se décompose en cinq activités (Figure 3-27) : charger le modèle CAO, identifier les entités d'usinage, créer le brut, créer les intermédiaires et créer la documentation.

3.2.3.3 Extraction des objets

Les documents rencontrés sont les fiches matières, les fichiers CAO des produits, les gammes de fabrication, les plans de phases, les descriptions de poste de charge…Le modèle de données associé est présenté Figure 3-28.

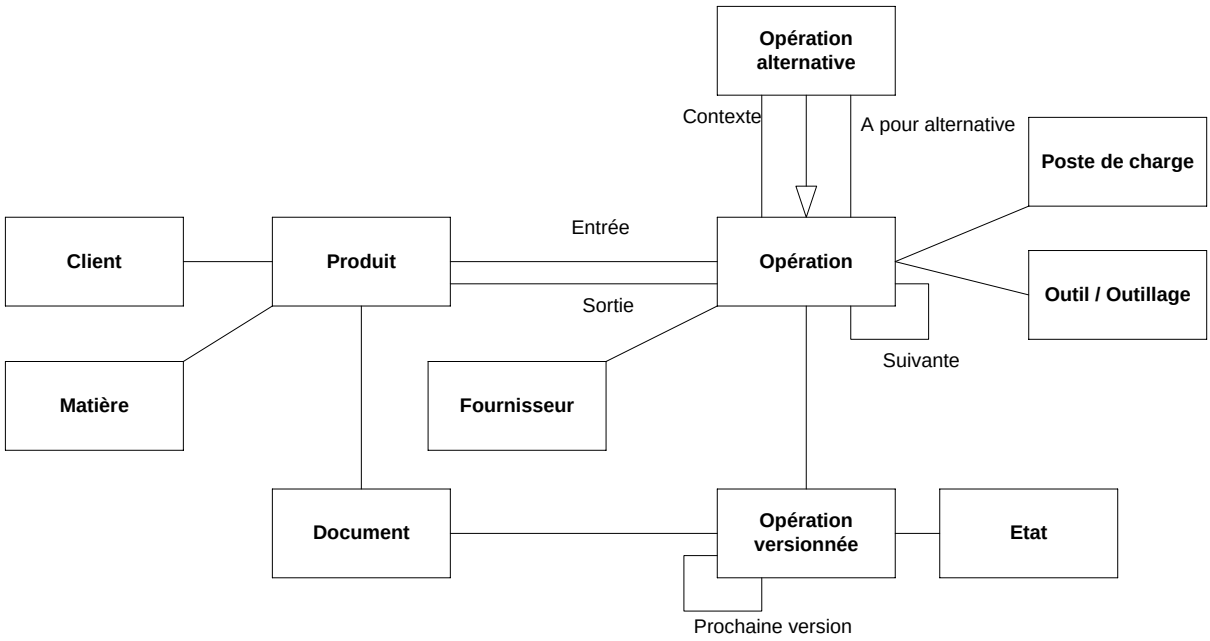


Figure 3-28: Modèle de données Capricorn

Les opérations sont des éléments à définir par les méthodes. Elles sont versionnées et passent par différents statuts allant de la création à la validation. La suite d'opération effectuée sur un produit forme une gamme. Chaque opération nécessite un poste de charge et un outil ou un outillage. Certaines opérations sont externalisées, comme par exemple les traitements thermiques. Ces opérations ont alors un fournisseur associé qui réalise ces opérations (Figure 3-29).

Le produit est fabriqué pour un client. Entre chaque opération, le produit passe d'un intermédiaire à un autre. Il change alors d'état, passant d'un état d'entrée dans l'opération à un état de sortie.

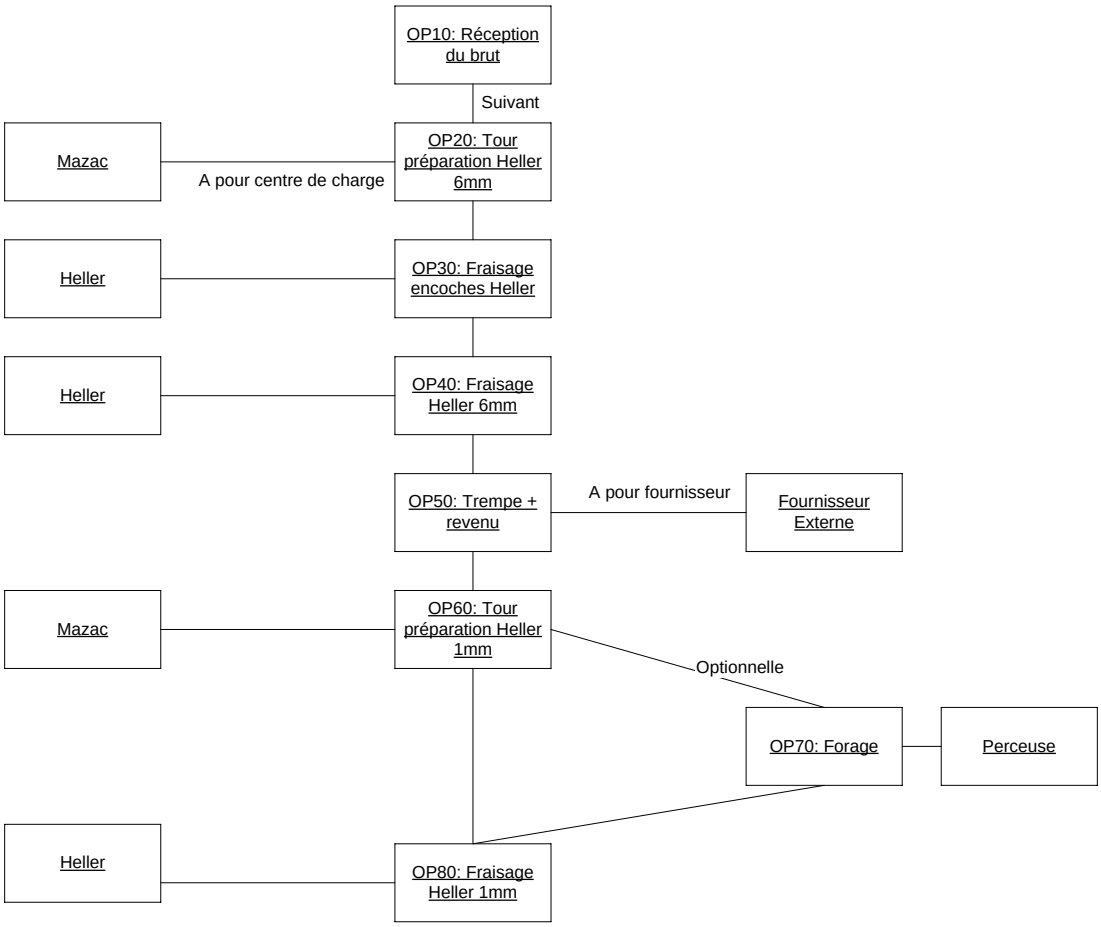


Figure 3-29: Gamme de fabrication d'un vilebrequin

3.2.3.4 Validation

Une solution a été développée pour gérer l'automatisation des premières phases de la gamme du vilebrequin dont les modèles de gamme sont bien connus (Figure 3-30).

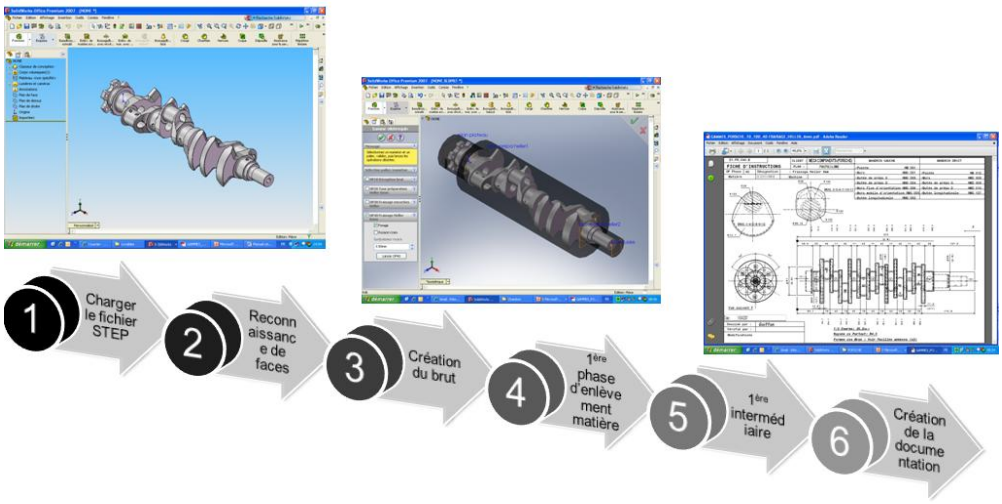


Figure 3-30: Principe de fonctionnement du démonstrateur

Lorsque les Méthodes reçoivent un fichier d'un client, celui-ci est ouvert via le logiciel CAO. L'opérateur choisit la macro-gamme appropriée dans une liste de modèles. Ces modèles contiennent la liste des opérations et des postes de charge correspondants. Grâce à une reconnaissance de faces basée sur les règles métiers, le programme retrouve les différentes entités d'usinage de chaque opération. A partir du modèle 3D du produit fini, le programme reconstruit le brut. Puis il simule chaque phase d'usinage par une fonction « enlèvement de matière ». Le résultat est un modèle 3D de chaque intermédiaire.

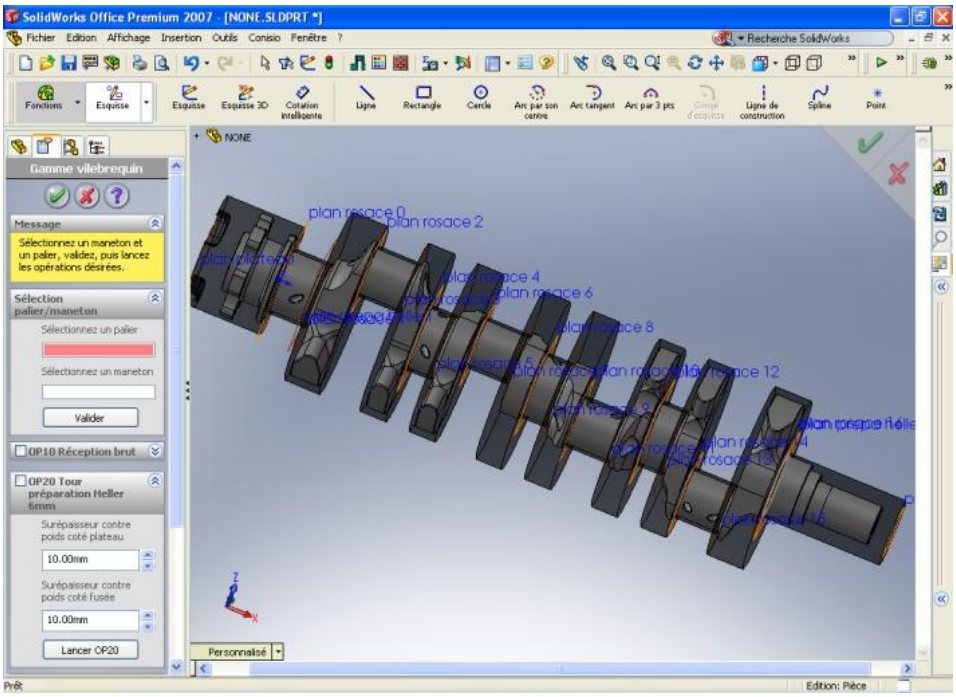


Figure 3-31: Interface du programme

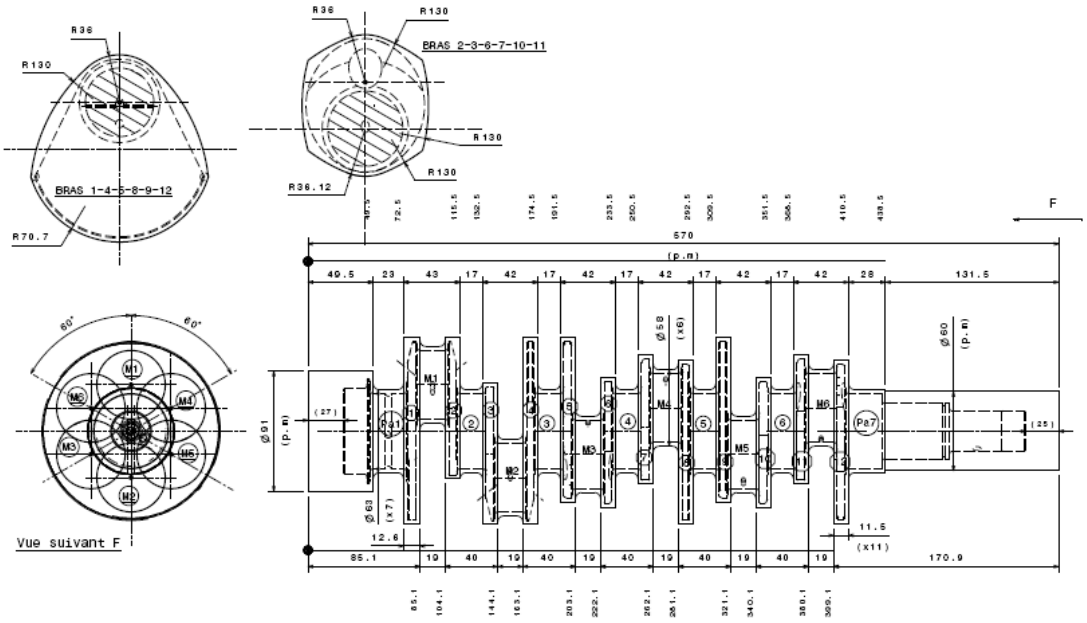


Figure 3-32: Plan de phase d'un intermédiaire

Tous les paramètres des opérations détaillées sont modifiables directement via une interface intégrée au logiciel CAO (Figure 3-31). La génération des documents est effectuée automatiquement à partir de des modèles 3D des intermédiaires. Ils sont ensuite enregistrés au format PDF avant d'être envoyés en production (Figure 3-32).

Les experts étant satisfaits du résultat obtenu, les phases d'analyse du besoin, de formalisation des processus et d'extraction d'objet sont validées.

3.2.3.5 Conclusion sur Capricorn

Ce cas d'étude nous a permis d'identifier les différents processus et les différentes informations techniques utilisées par le bureau des méthodes lors de la phase d'industrialisation. Il nous a également permis d'acquérir les connaissances nécessaires à leurs utilisations aussi bien en interne via les processus métiers qu'en externe via les échanges avec les clients et la production.

3.3 Bilan des immersions

La démarche systématique adoptée a permis de mettre au point un triplet besoins / processus / données pour chacune des trois entreprises pilotes. L'utilité de chacun de ces triplets est démontrée par la mise en place d'un développement spécifique validé par les experts de chaque entreprise.

Cette méthode de modélisation est inductive, utilisant des immersions en entreprises pour extraire les besoins implicites et explicites. L'application de cette méthode a permis l'obtention d'une solution dans trois cas distincts.

L'utilisation d'une phase de validation suivie d'une redéfinition des modèles, s'il n'y a pas validation de l'expert, ne fait pas diverger la méthode pour autant. En effet les modèles précédemment utilisés servent de base à un nouveau travail de modélisation, ce qui permet de converger plus rapidement vers une solution.

Les langages mis en œuvre dans cette méthode ont permis d'obtenir les résultats escomptés, c'est-à-dire une discussion possible avec l'expert métier tout en gardant une définition assez précise pour permettre le développement d'un démonstrateur dédié.

Enfin le choix des entreprises et les problématiques étudiées permettent de couvrir la gestion d'informations techniques sur la partie du cycle de vie du produit allant de la conception préliminaire à la fabrication (Figure 3-33).

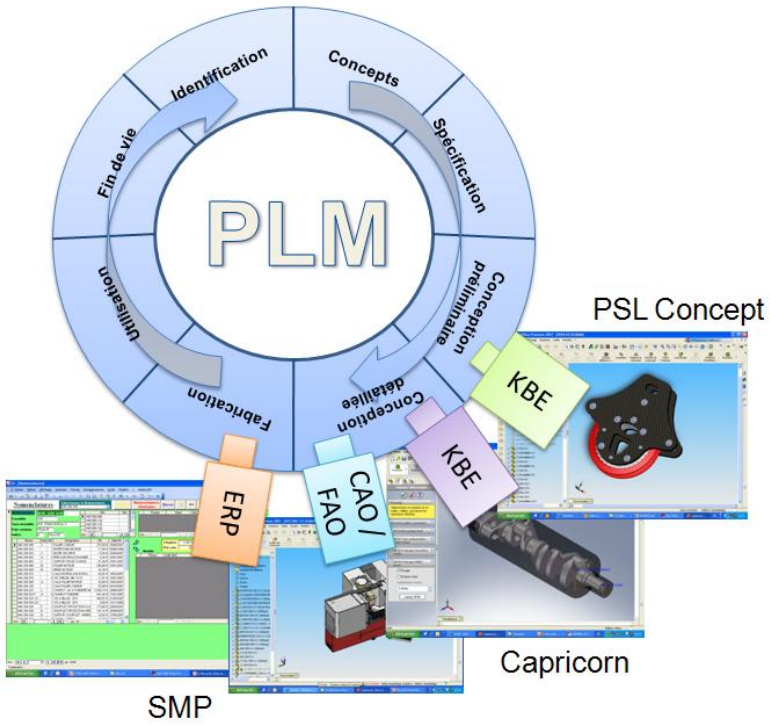


Figure 3-33: Étapes du cycle de vie couvertes par les entreprises pilotes

Le prochain chapitre va expliquer comment passer de différents triplets besoins / processus / données spécifiques à un triplet générique, pouvant être réutilisé.

Cadre méthodologique pour l'implémentation de système PLM

4. Cadre méthodologique pour l'implémentation de systèmes PLM

Ce chapitre généralise les besoins / processus / données obtenus pour chacune des entreprises pilotes étudiées. Il explique l'agrégation des besoins, la concaténation des processus et la généralisation des objets de modélisation. La deuxième partie de ce chapitre expliquera comment mettre en œuvre ce cadre pour l'implémentation de systèmes PLM.

4.1 Construction du cadre

Après avoir appliqué notre démarche dans trois entreprises spécifiques, le résultat obtenu se compose de trois cartes de besoins, trois processus modélisés, et trois modèles de données. Le choix des entreprises dans notre typologie a été fait dans l'optique d'obtenir des résultats disjoints et complémentaires. Cette partie va agréger ces résultats afin de proposer une réponse visant à convenir à l'ensemble des acteurs PME de l'entreprise étendue (Figure 4-1).

La méthode proposée s'apparente à l'intégration des modèles proposée par Bigand dans [BIG 07], composée de quatre étapes :

1. Une étape de **modélisation** de besoins / processus / données des différentes entreprises présentée au chapitre 3. Nous proposons ici une méthode plus détaillée de modélisation, basée sur différentes étapes et différents langages facilitant la communication avec l'expert et la validation des modèles obtenus. Cette étape regroupe les deux premières étapes de Bigand à savoir l'analyse des différents domaines afin d'identifier les concepts utiles et la modélisation des différents domaines dans un langage commun.

2. Une étape de **généralisation** elle-même composée de quatre étapes pour l'agrégation des modèles :

   - Tout d'abord, une phase de tri des éléments des différents modèles afin de séparer les éléments concernant directement les problématiques PLM des éléments plus spécifiques à l'entreprise modélisée.

   - Deuxièmement, une phase de regroupement des éléments est effectuée par la recherche de synonymes, de liens, d'inclusions… entre les différentes entités.

   - Troisièmement, les regroupements sont définis afin d'obtenir les entités génériques. Cette phase comprend la recherche d'une sémantique commune aux différentes entités du regroupement et l'extraction des intersections des différentes entités.

   - Enfin, ces entités génériques sont réorganisées par la création de liens basés sur les liens existant entre les entités particulières les constituant.

   Cette étape explicite l'étape d'intégration des modèles dans un méta-modèle unique.

3. Une étape de **spécialisation** du modèle générique permettant d'obtenir des modèles plus proches des besoins de l'entreprise et de ses demandes en termes de fonctionnalités métiers. Cette étape n'est pas présente dans l'intégration des modèles.

4. Une étape d'**implémentation** correspondant à l'utilisation du méta-modèle.

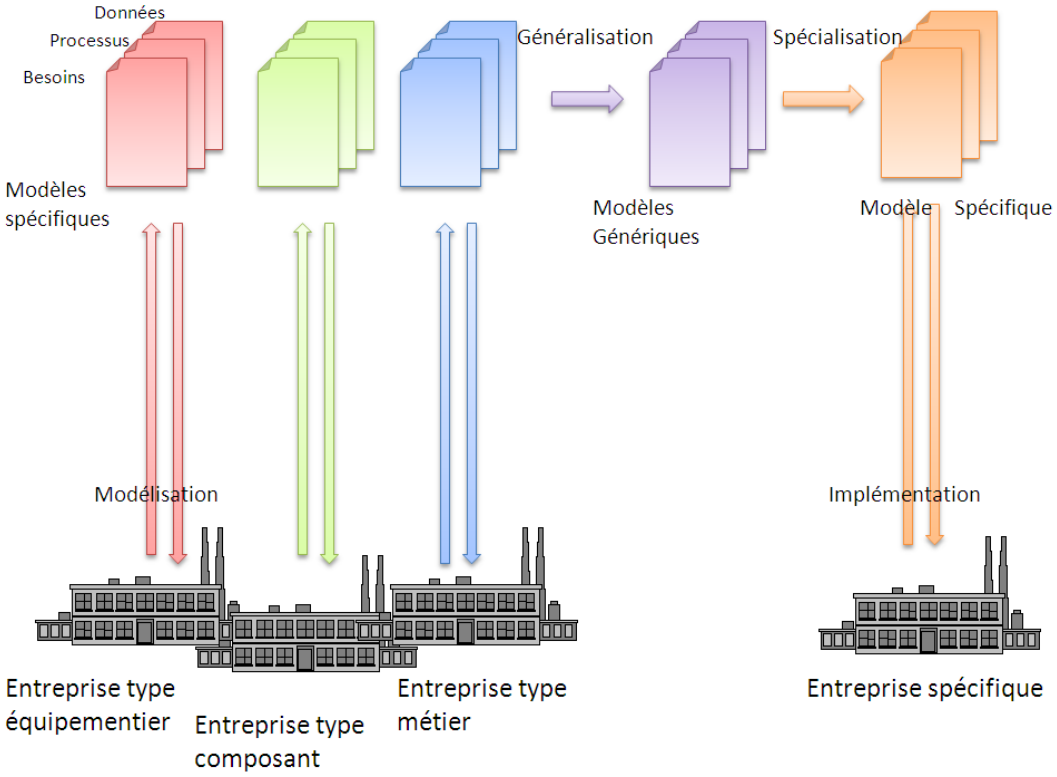


Figure 4-1: Construction des modèles génériques

Une consolidation du cadre obtenu a ensuite été effectuée par une confrontation des modèles obtenus avec différents experts du Cetim. Les experts impliqués sont de domaines variés, tels le chiffrage, la sûreté de fonctionnement, la gestion de production, l'analyse fonctionnelle et la gestion de l'innovation. Ces points de vue permettent une analyse transversale des modèles proposés par rapport à notre approche basée sur les types d'entreprises. Des interviews ont été pratiquées de manière informelle, même s'il est vrai qu'une analyse méthodologique aurait pu apporter une validation plus robuste.

Les experts sont interviewés pour connaitre leurs besoins en termes d'informations produit / processus / ressource afin de vérifier que les éléments nécessaires à leurs expertises respectives puissent être incorporés aux modèles proposés. Après une synthèse cognitive des besoins, processus et informations nécessaires, les modèles ont été retravaillés. Un bouclage par un retour des experts sur les nouveaux modèles a été effectué afin de valider les modifications apportées.

Les résultats présentés dans la suite de ce chapitre sont ceux ayant été retravaillés lors de la consolidation.

4.1.1 Cartes de besoins

Les principaux problèmes de chaque entreprise ont été identifiés (Figure 3-3, Figure 3-14, Figure 3-25). Chaque entreprise a été choisie dans un type différent de la typologie. Les entreprises pilotes appartiennent à des types équipementier, composant et métier. Ces entreprises ont des profils permettant d'imaginer des relations client/fournisseur entre elles. Ainsi nous pouvons recréer à partir de ce panel une organisation d'entreprise étendue allant du fabricant de pièce primaire à l'assembleur final.

Les problématiques abordées dans chaque pilote sont volontairement disjointes. Elles couvrent ainsi un spectre plus large des problématiques du développement produit. Elles sont choisies pour être représentatives des problématiques PLM des entreprises mécaniciennes.

Ces phases ont permis de dresser une liste des besoins de ces entreprises en gestion d'informations (Figure 4-2).

Les besoins retenus ici sont les besoins qui ne sont pas ou mal pris en compte par les systèmes PLM actuels. Les besoins standards de ce domaine, exprimés par les fonctionnalités énoncées dans l'état de l'art chapitre 2, ne sont pas repris ici.

Selon notre étude, il apparait sept catégories de besoins :

- **La gestion de configuration** : gérer les configurations de produit reste une part importante des demandes en PLM pour les entreprises de type équipementier. Les notions de variantes, d'options et de versions sont à prendre en compte par les systèmes PLM actuels.

- **La gestion de projet** : définir les tâches d'un projet, y affecter des ressources, vérifier la bonne tenue des délais… La gestion de projet classique doit profiter des outils collaboratifs du PLM pour permettre la gestion de projets virtuels.

- **La collaboration** : l'échange avec les clients et les fournisseurs de l'entreprise est un point important pour l'ensemble des PME. Faciliter et standardiser ces échanges est notamment important dans le cas d'échange de fichiers CAO.

- **Les vues multiples** : chaque métier dans l'entreprise a sa propre vision des objets techniques issue de l'historique et des méthodes propres au métier. Cela nécessite la possibilité de garantir plusieurs vues sans redondance des informations, notamment sur les nomenclatures.

- **La gestion des gammes de fabrication** : les entreprises de type métier, fabriquant des pièces primaires, souhaitent que la conception de la gamme de fabrication des

produits, et l'ensemble des informations que cela nécessitent, soient intégrés aux systèmes PLM.

- **L'interopérabilité avec les autres systèmes de l'entreprise** : le lien fort entre le PLM et d'un coté la CAO et de l'autre l'ERP reste d'actualité. Il faut favoriser ces échanges par la prise en compte dynamique des informations contenues dans ces deux principaux outils.

- **La mise en place d'indicateurs d'aide au développement produit** : le coût est l'indicateur le plus demandé pour choisir entre deux variantes de produit ou alternatives de gamme. D'autres indicateurs, comme l'équivalent carbone, très actuel, serait également considéré comme un plus.

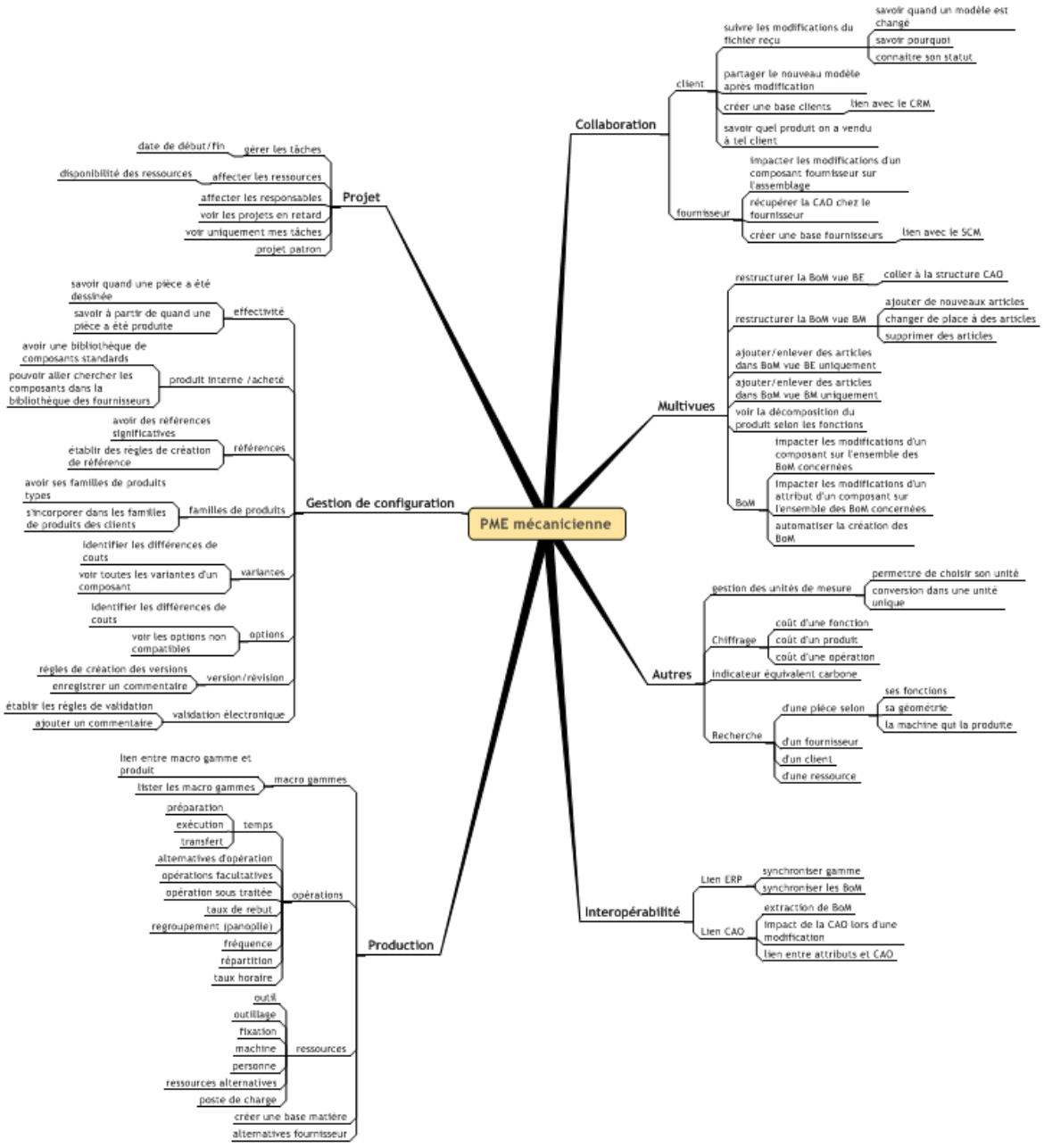


Figure 4-2: Carte de besoins globale

Afin d'en faciliter la lecture, une version simplifiée de la Figure 4-2 est reproduite ci-après (Figure 4-3). Une indication a été ajoutée pour montrer quel besoin vient plus spécifiquement d'un type d'entreprise particulier. On remarque que les besoins sont soit génériques, soit spécifiques aux entreprises de type équipementier ou composant, soit spécifiques aux entreprises de type métier et composant. Cela vient essentiellement du fait que les entreprises de type composant font à la fois de la fabrication de pièce et de l'assemblage d'éléments.

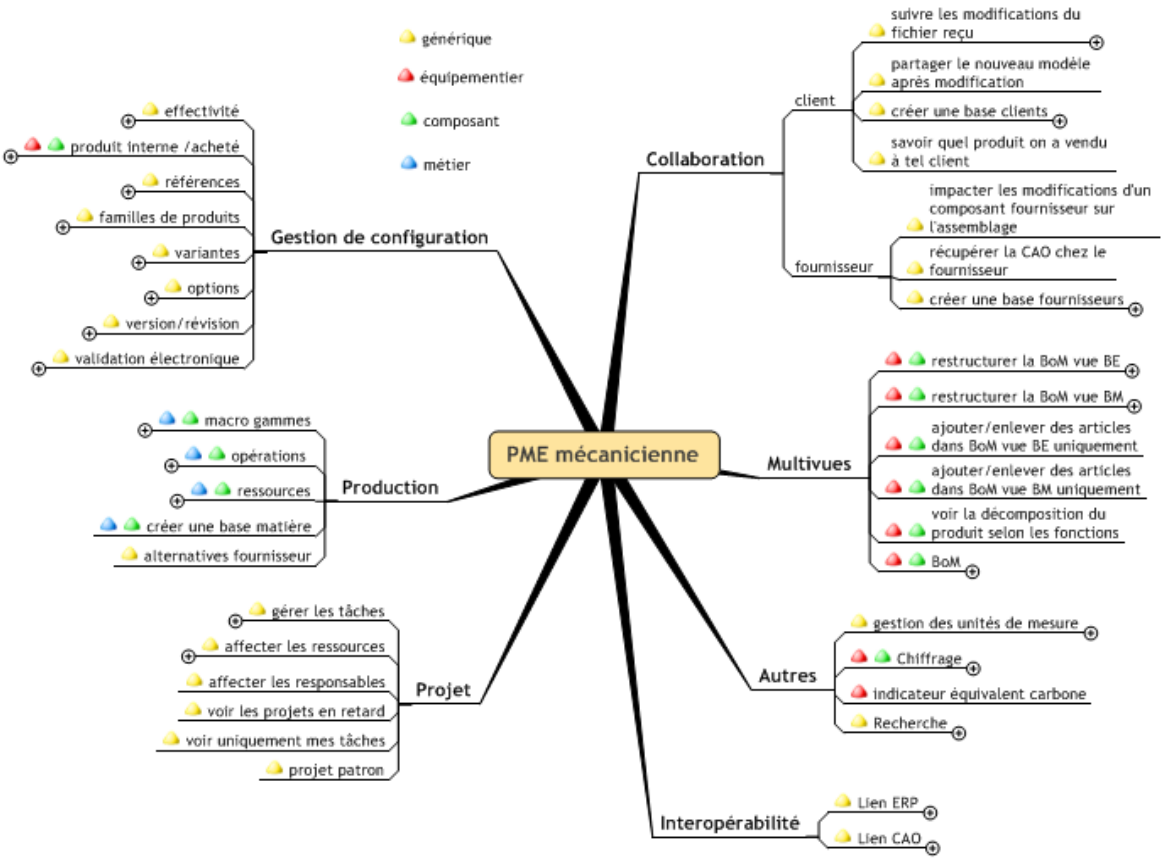


Figure 4-3: Carte de besoins globale simplifiée

4.1.2 Processus

Les processus couverts peuvent être mis bout à bout pour reconstituer un processus de développement produit.

L'entreprise de type composant fournit le processus allant de la demande client à la conception détaillée. L'entreprise de type équipementier permet de lier la conception détaillée et l'industrialisation. L'entreprise de type métier permet d'obtenir un processus d'industrialisation. Les processus de ces trois entreprises peuvent se combiner dans un processus pour entreprise étendue.

Le niveau de détail nécessaire des SADT (Figure 3-6, Figure 3-19, Figure 3-27) est celui faisant apparaitre les objets intermédiaires de conception. Afin de savoir quel sera leurs processus de création, de modification et de suppression dans le système d'informations, il est nécessaire de connaitre avec le même niveau de détail leurs vies réelles.

Il faut de plus atteindre ce niveau de détail dans l'ensemble des trois entreprises pilotes afin de permettre une généralisation cohérente des processus. En effet des objets intermédiaires se

retrouvent alors d'une entreprise à l'autre, continuant leurs processus de vie en changeant d'entreprise. Cette imbrication des objets intermédiaires permet de lier les processus des différentes entreprises en processus d'entreprise étendue.

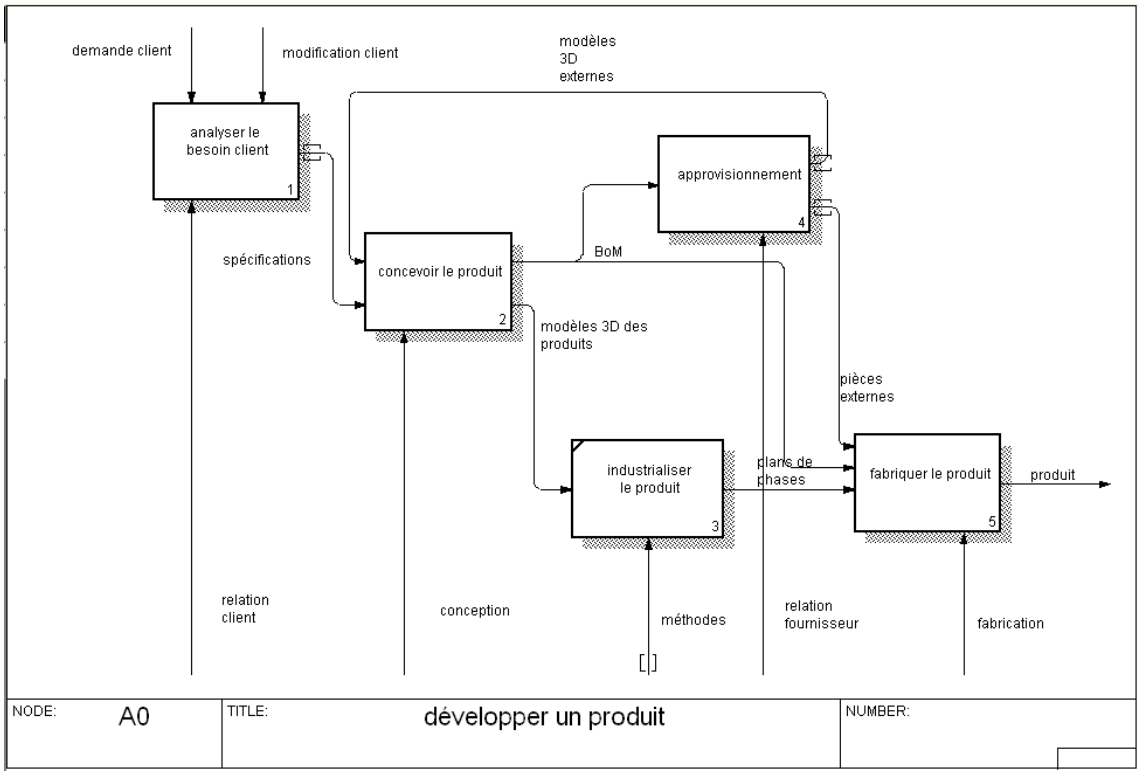


Figure 4-4: Processus global

Le processus résultant (Figure 4-4) est un processus de développement produit. Il comprend l'analyse du besoin client, la conception du produit et l'industrialisation du produit. La production, la commercialisation, la distribution et la fin de vie du produit ne sont pas couverts par notre processus qui se focalise sur le contexte PME mécaniciennes. Comme indiqué précédemment les PME mécaniciennes n'ont pas émis le souhait d'aller vers les autres phases du cycle de vie produit, soit parce que ce ne sont pas les mêmes entreprises qui s'occupent de la distribution, de la maintenance et de la fin de vie de leur produit, soit parce qu'il est nécessaire pour elles de commencer par gérer les phases amonts de développement produit avant de s'intéresser aux phases avales.

4.1.3 Modèle de données générique

La méthode proposée se poursuit par la construction d'un unique modèle générique à partir de trois modèles de données différents.

Rappelons tout d'abord que les objets sont obtenus en extrayant les entrants et sortants des processus cibles. Il s'agit ainsi des objets intermédiaires de conception.

Certains objets présents dans les modèles particuliers sont des représentations des objets d'entreprises. Ils ne seront pas alors présents dans le modèle de données. Les représentations, qui prennent la forme de documents, seront rattachées à l'objet qu'ils représentent.

Un second point réside dans la difficulté d'alignement sémantique. Un même objet peut avoir différents noms selon l'entreprise qui l'utilise. Le fait que le même modélisateur soit à l'origine des trois modèles facilite la concaténation des objets. Dans le cas contraire, il serait nécessaire de définir une ontologie du domaine associé à une démarche de standardisation qu'il faudrait faire en amont de cette généralisation.

Ces principes appliqués aux trois modèles de données des pilotes (Figure 3-7, Figure 3-10, Figure 3-20, Figure 3-28) conduisent notre modèle générique.

Ce modèle généralise les objets utilisés dans les trois entreprises pilotes pour obtenir un petit nombre d'objets « parent » qui permettent la spécialisation de tous les autres objets. Ces objets génériques sont représentés dans le modèle simplifié Figure 4-5.

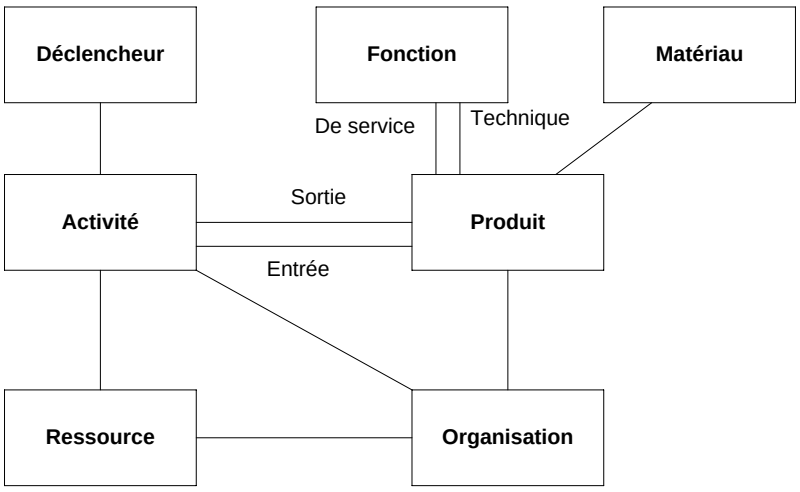


Figure 4-5: Diagramme de classes UML simplifié du modèle générique

Les différents objets identifiés sont les activités, les produits, les matériaux, les fonctions, les ressources, les déclencheurs, les organisations et les documents. L'activité se spécialise en tâche et en opération, l'organisation se spécialise en client et fournisseur, la ressource en ressource matérielle, humaine ou logicielle.

Nous allons maintenant approfondir des modèles de produit présentés dans l'état de l'art pour définir les différents éléments de notre modèle. Cette définition ne pouvait se faire auparavant car il nous fallait identifier les éléments utiles dans notre contexte par notre approche ascendante et immersive.

- **L'objet activité**

Les notions de processus et d'activités sont souvent associées. Selon Gzara [GZA 00], une activité peut être définie comme tout type d'action effectuée par une ou plusieurs ressources ayant différents rôles et ce pour satisfaire un objectif donné. Un processus est défini comme une suite partiellement ordonnée d'activités de l'entreprise réalisant un objectif et mobilisant plusieurs acteurs. Un processus est une activité décomposable. Dans l'ontologie MOKA, une activité décrit une étape du processus de conception du produit. Elle peut représenter des macro-activités ou des activités élémentaires. Du point de vue normatif, un processus est un système d'activités utilisant des ressources pour convertir des intrants en extrants, qui peuvent être matériels ou immatériels (*ISO 9000:2000*).

Or, n'ayant pas de nécessité à différencier les éléments composés des éléments élémentaires, nous ne différencierons pas activité et processus. Laissant la possibilité de décomposition d'une activité, la notion de processus devient alors redondante.

Selon Labrousse [LAB 04], le processus est une organisation séquentielle, spatiale et hiérarchique d'activités faisant appel à des ressources (ou moyens) et conduisant à des produits (ou sorties).

Ainsi nous proposons pour la définition d'une activité :

> ***Définition Activité*** *: Une activité est une suite d'actions qui se déroulent dans le temps, qui transforment (changement de lieu, de forme ou d'époque) un produit en mobilisant des ressources.*

L'activité se spécialise en deux objets afin de couvrir les objets de nos modèles particuliers, l'opération et le projet.

L'opération est une action destinée à modifier les caractéristiques d'un article ou d'un en-cours, pour aboutir à un nouvel article ou à un nouvel en-cours (*NF X 50-310*). L'opération recouvre les opérations de fabrication et les opérations d'assemblage. De manière plus large, nous proposons la définition suivante :

> ***Définition Opération*** *: une opération est une activité reproductible.*

Un projet est quant à lui un processus unique, qui consiste en un ensemble d'activités coordonnées et maîtrisées comportant des dates de début et de fin, entrepris dans le but d'atteindre un objectif conforme à des exigences spécifiques telles que les contraintes de délais, de coûts et de ressources (*ISO 10006*). Nous gardons la même stratégie que pour le processus et l'activité, et ne nécessitant pas de distinction entre projet et tâche d'un point de vue informationnel, nous garderons juste l'objet projet qui pourra se décomposer jusqu'en projets élémentaires qui correspondent aux tâches. Ainsi nous proposons la définition suivante :

***Définition Projet** : un projet est une activité unique.*

Le modèle de l'objet activité est présenté Figure 4-6.

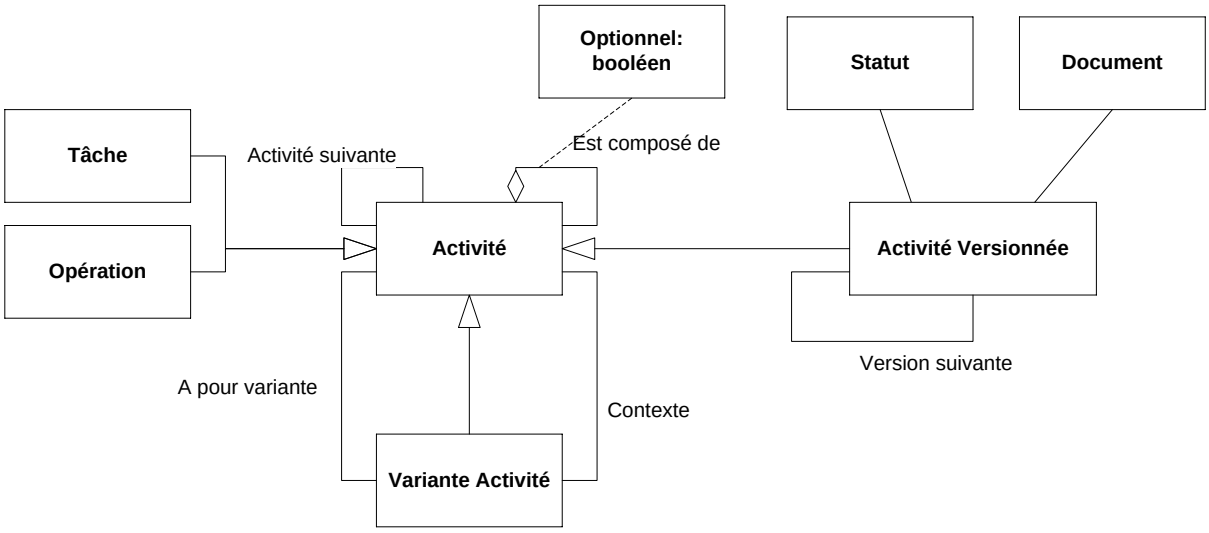


Figure 4-6: Diagramme de classes UML de l'activité

Une décomposition d'activité est ordonnée, ce que permet le lien « suivant ». Ce lien permet d'effectuer des classements séquentiels, parallèles ou des bouclages (Figure 4-7).

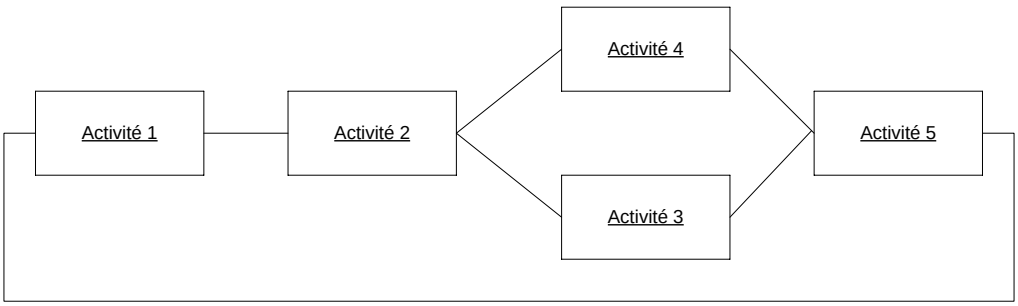


Figure 4-7: Instanciation de la classe activité

La variante activité représente une activité alternative à l'activité originale. Elle est donc elle-même une activité. Elle se place dans un contexte processus et sera donc liée par le lien « contexte » à son activité parent. C'est par exemple une activité réalisée en interne qui peut être externalisée, l'activité externalisée étant la variante de l'activité réalisée en interne.

Les documents associés à une activité sont par exemple des simulations de procédé en FAO, des plans de phases, des codes CN ou divers documents servant de livrables à une tâche…

- **L'objet déclencheur**

Selon le grand dictionnaire terminologique[40], le déclencheur est un phénomène qui influence la prise de décision, détermine la production d'un bien ou d'un service, déclenche une activité de gestion, est à l'origine du changement de philosophie, de procédés, d'équipement ou encore d'organisation du travail dans l'organisme ou l'entreprise.

Dans notre contexte, nous définirons un déclencheur comme :

> ***Définition Déclencheur*** *: un déclencheur est un ensemble de conditions nécessaires au déclenchement d'une activité.*

Le modèle de l'objet déclencheur est présenté Figure 4-8.

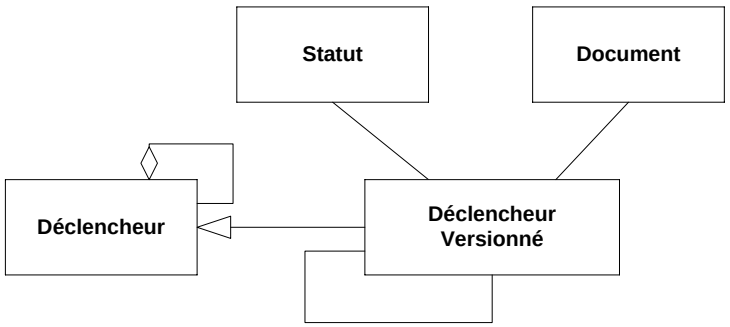


Figure 4-8: Diagramme de classes UML du déclencheur

Les documents associés à un déclencheur peuvent être une commande, une demande de modification…

- **L'objet produit**

Pour la norme (*NF X 50-150*) un produit est ce qui est ou sera fourni à l'utilisateur pour répondre à son besoin. Dans l'AP 214 de STEP, un produit est un objet ou une unité dans un groupe d'objets. Il regroupe les informations communes à l'ensemble des versions de l'objet.

Dans FBS-PPRE, le produit est le résultat, l'élément que l'activité a pour objectif de transformer. Nous définissons ainsi le produit :

[40] Site du GDT, http://www.olf.gouv.qc.ca/ressources/gdt.html, consulté le 19/02/2010.

***Définition Produit** : le produit est le sujet de l'activité.*

Le modèle de l'objet produit est présenté Figure 4-9.

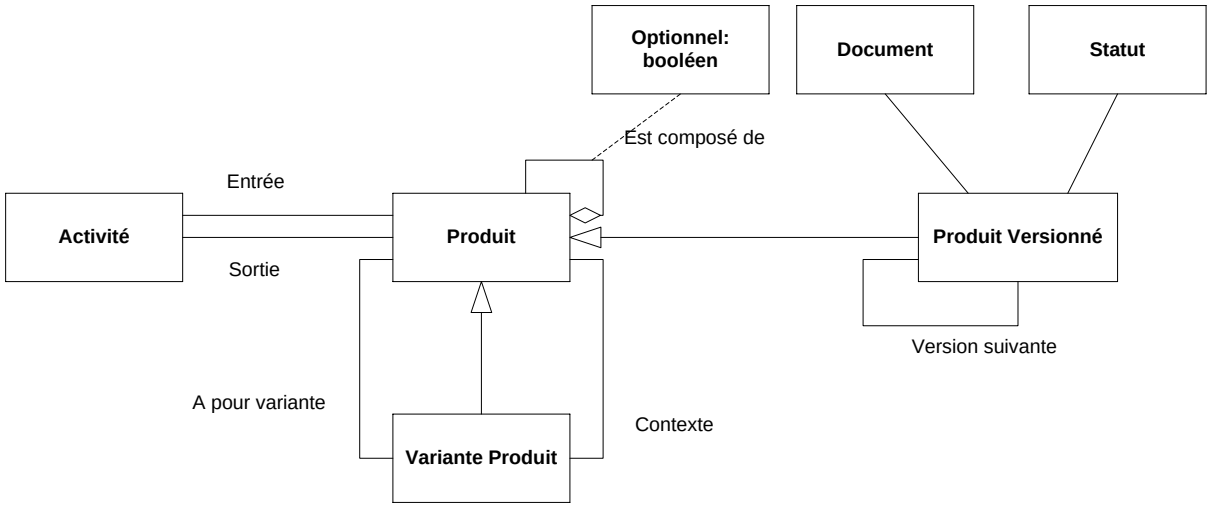


Figure 4-9: Diagramme de classes UML du produit

Le produit possède des variantes. Ces variantes sont des composants alternatifs du produit qui ne modifient pas les fonctionnalités du produit final.

Certains produits comprennent des options qui sont des composants ajoutés au produit de base. Dans notre modèle, le produit doit comprendre l'intégralité des options et avoir des variantes vides pour les composants optionnels.

Les documents associés au produit sont les fichiers CAO, les plans 2D…

- **L'objet matériau**

D'après STEP, un matériau est la substance à partir de laquelle est fait un produit.

Un matériau peut être simple ou composite. Il est alors la combinaison de plusieurs matériaux.

Nous définirons le matériau comme suit :

***Définition Matériau** : un matériau permet de caractériser l'ensemble des substances constitutives d'un produit.*

Le modèle de l'objet matériau est présenté Figure 4-10.

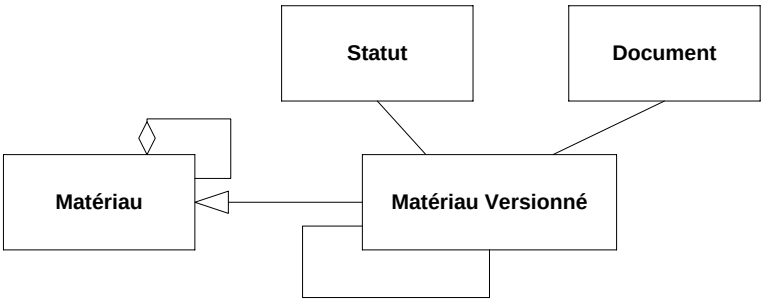


Figure 4-10: Diagramme de classes UML du matériau

- **L'objet fonction**

Une fonction est une action d'un produit ou de l'un de ses constituants exprimée exclusivement en termes de finalité (*NF X 50-150*). Dans STEP, une fonction est un comportement ou une action attendue d'un produit. Pour FBS-PPRE, une fonction est une action que devra faire l'objet.

La fonction n'a d'intérêt que vis-à-vis du produit dans nos entreprises pilotes. Même si les autres objets d'entreprise peuvent avoir une fonction, nous ne l'expliciterons que pour l'objet produit. Nous définirons donc la fonction comme :

***Définition Fonction** : une fonction est une action attendue du produit.*

Classiquement une fonction se spécialise en fonction de service et en fonction technique en suivant la norme ISO 9000 [GZA 00], [LAB 04].

Une fonction de service est une action demandée à un produit, ou réalisée par lui, afin de réaliser une partie du besoin d'un utilisateur donné ; les fonctions de service sont soit des fonctions d'usage, soit des fonctions d'estime (*NF X 50-150*).

Une fonction technique est une action interne au produit (entre ses constituants) choisie par le concepteur-réalisateur, dans le cadre d'une solution, pour assurer des fonctions de service (*NF X 50-150*).

Contrairement à la spécialisation classique de la fonction en fonction de service et fonction technique, nous préférons un typage des liens entre fonction et produit. Nous considérons que les fonctions techniques d'un produit deviennent les fonctions de service de ses composants. Ainsi un produit peut avoir des liens de fonctions techniques avec une fonction alors que ses composants auront des liens de fonction de service avec cette même fonction. Cette double liaison permet alors d'obtenir une vue fonctionnelle sur le produit par une décomposition produit-fonction-composant.

Le modèle de l'objet fonction est présenté Figure 4-11.

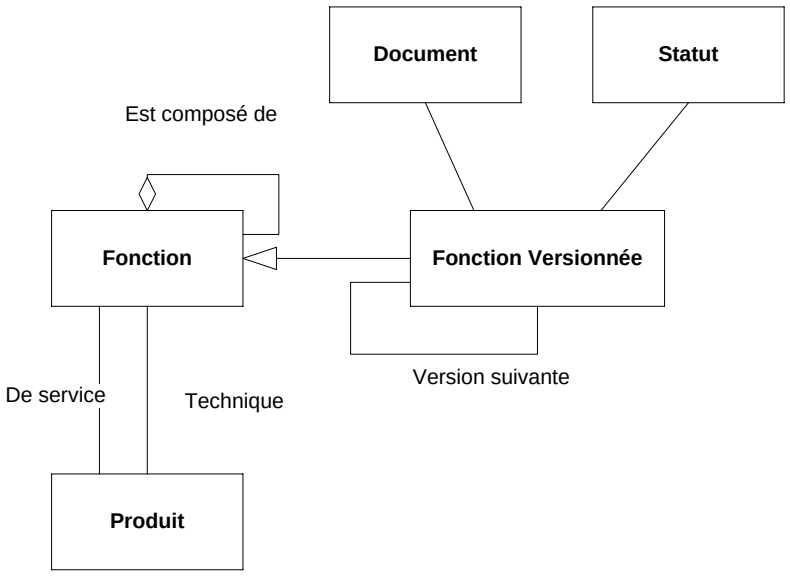


Figure 4-11: Diagramme de classes UML de la fonction

- **L'objet Ressource**

Il s'agit des ressources que gère l'organisation. Les ressources peuvent être des personnes, des machines, des outils, des outillages… ou une composition de tout cela à la fois.

Pour Vernadat, une ressource est une entité qui peut jouer un rôle dans la réalisation d'un certain type de tâche, lorsqu'elle est disponible [VER 96]. Cette définition pose le problème qu'elle ne permet pas de différencier les produits des ressources.

Cette distinction est faite dans FBS PPRE, ou une ressource est un élément contribuant au processus sans en être l'objet [LAB 04]. Nous reprenons donc cette définition en l'adaptant à notre modèle :

> ***Définition Ressource*** *: une ressource est un élément contribuant à l'activité sans en être l'objet.*

Le modèle de l'objet ressource est présenté Figure 4-12. La ressource est utilisée par l'activité. Elle peut être matérielle, humaine ou logicielle.

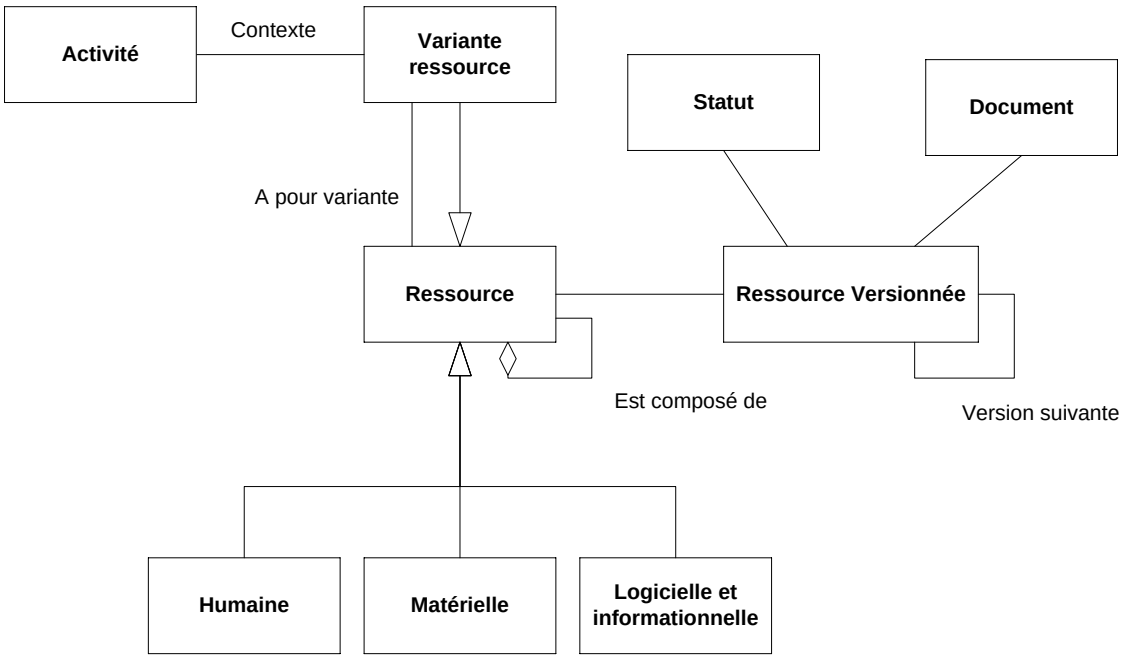


Figure 4-12: Diagramme de classes UML de la ressource

Les documents associés aux ressources sont les fiches de maintenance, les fiches de préparation…

La variante d'une ressource permet de définir les ressources capables de réaliser la même activité. Elle est donc de type ressource et se place dans un contexte d'activité. Il s'agit ici de retranscrire la notion de capacité pour un poste de charge ou de compétence pour une personne.

- **L'objet organisation**

Dans un contexte d'entreprise étendue se pose la question du périmètre du système d'informations. Faut-il privilégier l'entreprise étendue et mutualiser toutes les informations de l'ensemble des entreprises ou faut-il avoir un système par entreprise et favoriser les échanges entre les systèmes ?

Étant donné que les entreprises doivent pouvoir s'intégrer à plusieurs entreprises étendues simultanément, la solution consistant à avoir un système par entreprise est la plus appropriée pour les PME mécaniciennes.

D'après STEP, une organisation est un groupe de personnes impliquées dans un processus métier. Pour nous, l'organisation est définie comme :

Définition Organisation *: l'organisation est un groupe de personnes impliquées dans une activité concernant le produit.*

C'est le système à considérer. Il s'agit d'ordinaire d'une entreprise, mais il peut également s'agir d'une entreprise étendue, ou d'un département dans une entreprise. Ce système communique avec l'extérieur, et en particulier avec ses clients et fournisseurs. Ces clients et fournisseurs sont hors du système à considérer.

Le modèle de l'objet organisation est présenté Figure 4-13.

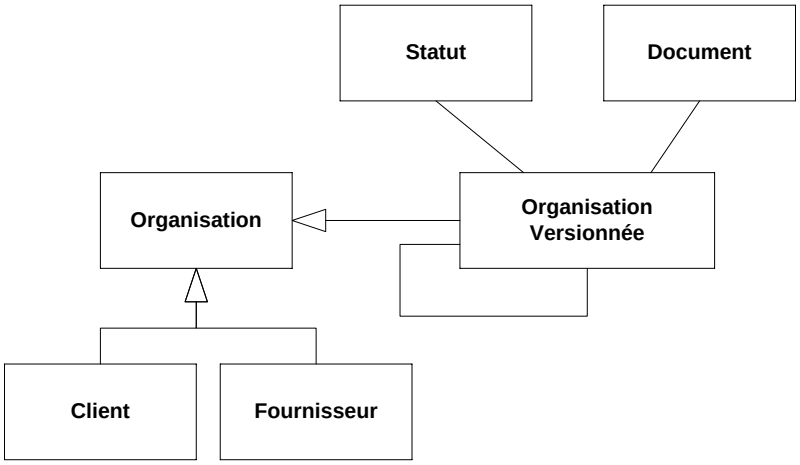


Figure 4-13: Diagramme de classes UML de l'organisation

- **L'objet document**

Chacun des objets présentés jusqu'ici peut être relié à des documents. Ces documents complètent les informations de l'objet en question.

Bachimont dans [BAC 00] défini un document comme le résultat d'un acte de publication où un contenu est rendu accessible et manipulable à travers son inscription sur un support matériel. Dérivant de cette définition, Keraron dans [KER 07] le définit comme un objet technique qui apparaît lors d'un processus d'inscription intentionnel sur un support matériel dans des conditions assurant la stabilité dans le temps de l'inscription, de représentations codées et destinées à être maniées, traitées de façon manuelle ou automatique par une machine puis interprétées lors d'un acte de représentation d'un utilisateur.

Mais ces définitions insistant sur l'intentionnalité et le support ne sont pas essentielles à notre modèle. Nous nous tournons donc vers une définition plus simple telle celle de Gzara pour qui le document est un support d'enregistrement de connaissances (un conteneur) qui a pour finalité de décrire en partie un objet technique ou les processus qui lui sont rattachés.

Un document peut donc avoir des formes très variées, tel un fichier CAO, un plan 2D, une spécification, un fichier de simulation, un ordre de fabrication, une notice d'utilisation, une fiche matériaux… Constatant que le document peut décrire le produit ou le processus, mais également les ressources, les organisations, les matériaux, les déclencheurs ou les fonctions, nous proposons la définition suivante :

> ***Définition Document :*** *un document est un support d'enregistrement de connaissances qui a pour finalité de décrire en partie un objet d'entreprise.*

Le modèle complet est représenté Figure 4-14.

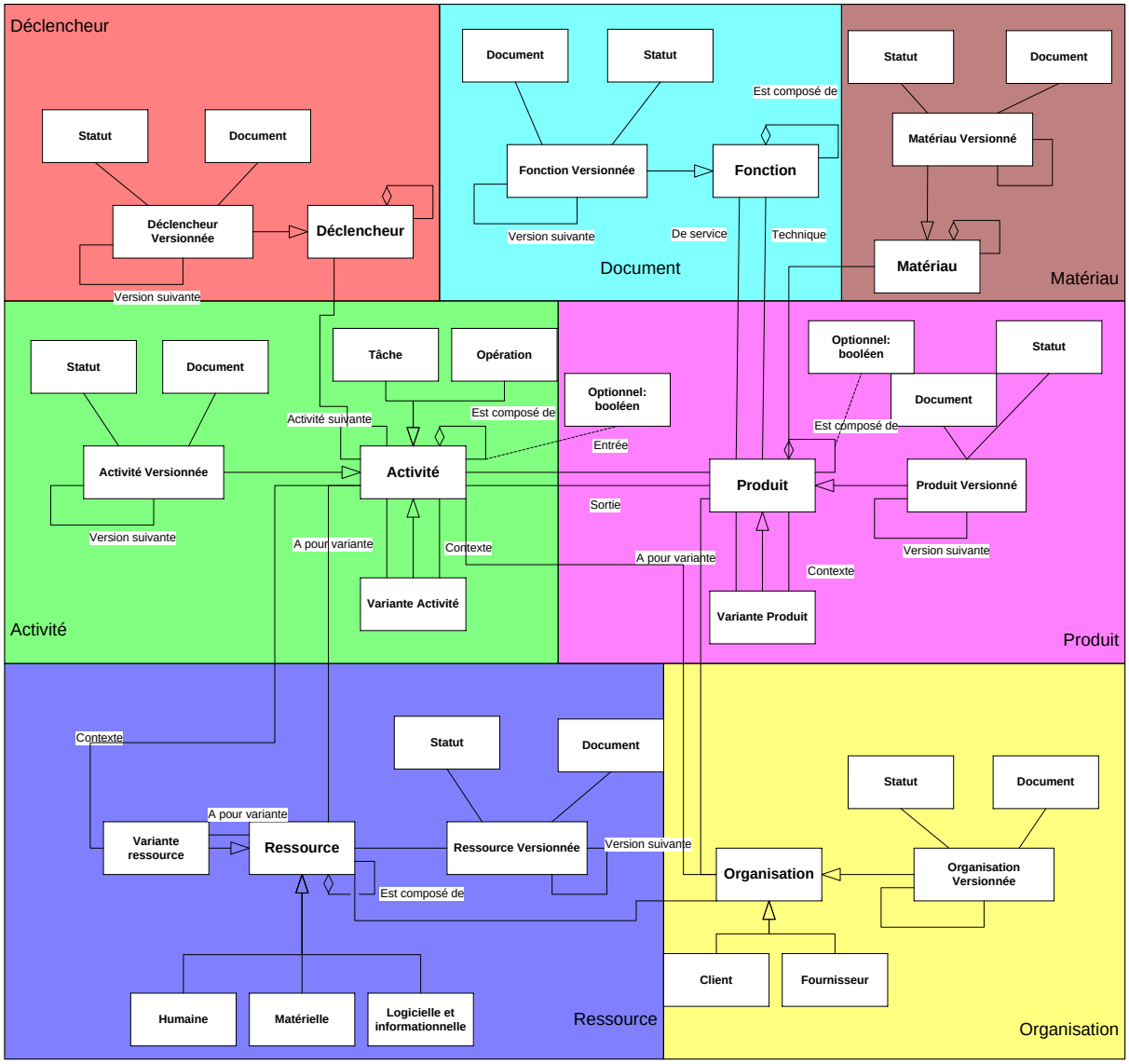


Figure 4-14: Diagramme de classes UML du modèle générique

Les méthodes classiques de création, de modification et de suppression d'objets sont appliquées à l'ensemble des objets de notre modèle. Il en va de même pour les liens entre objets.

4.1.4 Interopérabilité du modèle générique

Le modèle obtenu, aussi universel soit-il, ne peut résoudre le problème de l'interopérabilité avec des entreprises utilisant un autre modèle comme base de modélisation. Nous établirons donc un lien entre notre modèle générique et les principaux modèles rencontrés dans la littérature. Les mappings présentés ici ne montrent que les éléments pouvant faire l'objet d'une liaison bijective, les éléments restant dans chacun des modèles demandent une adaptation plus poussée pour être mappés.

4.1.1.1 Lien avec STEP AP 214

Un des modèles de référence en mécanique pour l'échange d'informations est STEP et ses nombreuses extensions. L'AP 214 est choisi car ce protocole d'application est plus utilisé dans les PME mécaniciennes que PLCS.

Les principales classes d'objet sont présentes dans les deux modèles. La difficulté principale à relier ces deux modèles vient du fait qu'ils ne sont pas basés sur les mêmes paradigmes, l'un étant orienté Article-Activité (STEP) et l'autre Produit-Process-Ressource (notre modèle).

Un mapping entre l'AP 214 et notre modèle est proposé Tableau 4-1.

STEP AP 214	Notre modèle
Activity	Activité
Process_operation_definition	Opération
Project	Projet
Product_function	Fonction
Person	Personne
Organization	Organisation
Material	Matériau

Tableau 4-1: Mapping entre STEP AP 214 et notre modèle

Ce mapping seul ne permet pas d'obtenir toutes les informations nécessaires. Il faut de plus prendre en compte les objets de type « object_relationship » qui permettent d'obtenir les liens entre les objets STEP.

4.1.1.2 Lien avec FBS-PPRE

Le modèle que nous présentons n'a pas pour vocation une complétude absolue. On peut remarquer par exemple que seul le produit dispose d'un objet fonction. Or, comme le fait remarquer Labrousse [LAB 04], tous les objets d'entreprises ont un point de vue fonction, structure et comportement, les processus et les ressources également. Or si les fonctions des produits sont beaucoup utilisées dans le développement produit, et représentent des informations qu'il faut modéliser, ce n'est pas encore le cas des fonctions des ressources et de celles des processus.

Le modèle FBS-PPRE se situe donc à un niveau différent de modélisation. Celui-ci peut décrire chacun des objets de notre modèle de manière plus complète que celle, très opérationnelle, que nous utilisons (Figure 4-15).

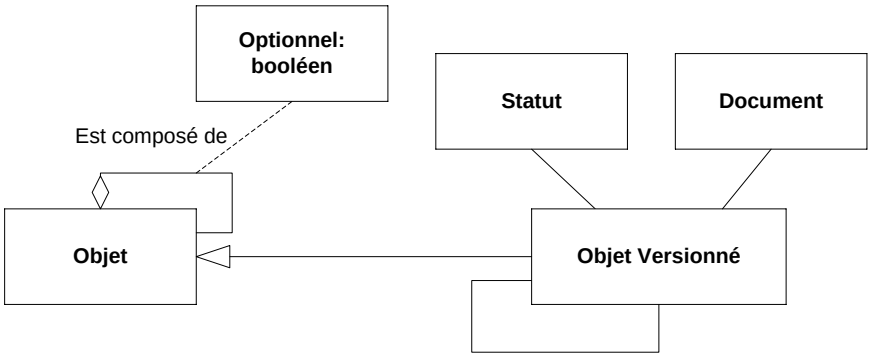


Figure 4-15: Modèle d'un objet d'entreprise

4.1.1.3 Lien avec IPPOP

Un premier lien entre les classes du modèle IPPOP et celles de notre modèle a été fait dans le Tableau 4-2.

IPPOP	Notre modèle
Product Data (versionned)	Produit
Project	Projet
Resource	Ressource
Human	Personne
Function	Fonction
Trigger	Déclencheur

Tableau 4-2: Mapping entre IPPOP et notre modèle

Si beaucoup d'éléments sont identiques, il n'en reste pas moins que les deux modèles ne sont pas conçus dans des buts similaires. IPPOP vise une gestion du projet de conception, va plus loin sur ce point en intégrant dans son modèle un modèle de décision.

4.1.1.4 Conclusion sur l'interopérabilité

La réécriture d'informations est source d'erreur et une perte de temps importante pour de nombreuses entreprises. Cela est vrai en interne mais également en entreprise étendue où les informations sont réécrites d'une entreprise à l'autre. Afin de diminuer ces problèmes, des passerelles primaires sont construites pour permettre un premier niveau d'échange avec les modèles de l'AP214, de FBS-PPRE et d'IPPOP.

4.1.2 Niveaux d'instanciation du cadre de modélisation

Pour augmenter leur productivité les entreprises utilisent des systèmes à base de connaissances permettant d'automatiser certaines tâches très spécifiques à leur métier. Les modèles mis en place sont alors très spécialisés. Ces entreprises doivent également communiquer et échanger de plus en plus et de plus en plus vite. Là encore des modèles sont apparus pour leur permettre d'échanger des informations, cette fois à un niveau beaucoup plus générique. Les informations qui circulent au niveau expert ne sont pas liées avec les informations qui circulent au niveau échange. D'où, au mieux une redondance des informations, au pire des erreurs.

4.1.2.1 Proposition de trois niveaux d'instanciation

Notre proposition est de partir d'un modèle générique pour le niveau d'information du PLM et de le spécialiser dans chaque entreprise pour le niveau expert. Trois niveaux sont obtenus en se basant sur les trois niveaux d'instanciation de GERAM [GER 99] (Figure 4-16):

- le niveau **générique** : c'est le modèle défini dans la première partie de ce chapitre. Les objets y sont génériques et peuvent être utilisés par n'importe quelle entreprise.
- Le niveau **partiel** : un modèle défini à partir du modèle générique et qui exprime l'ensemble des objets utiles à un domaine particulier, par exemple l'usinage, l'emboutissage, l'ameublement… Il s'agit typiquement ici des « métiers » tels que définit par le Cetim.

- Le niveau **particulier** : c'est le modèle de l'entreprise, défini soit à partir du modèle domaine, soit, si celui-ci n'existe pas, directement à partir du modèle générique.

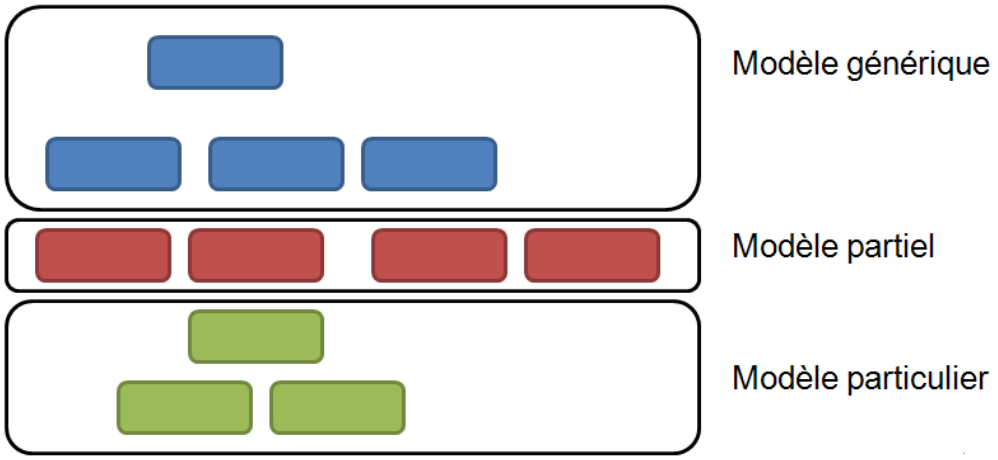


Figure 4-16: Modèle unifié

L'exemple Figure 4-17 propose de spécialiser l'objet produit avec un modèle partiel spécialisé pour les fabricants de pompes et un modèle particulier pour une entreprise fabricant quatre types de pompe.

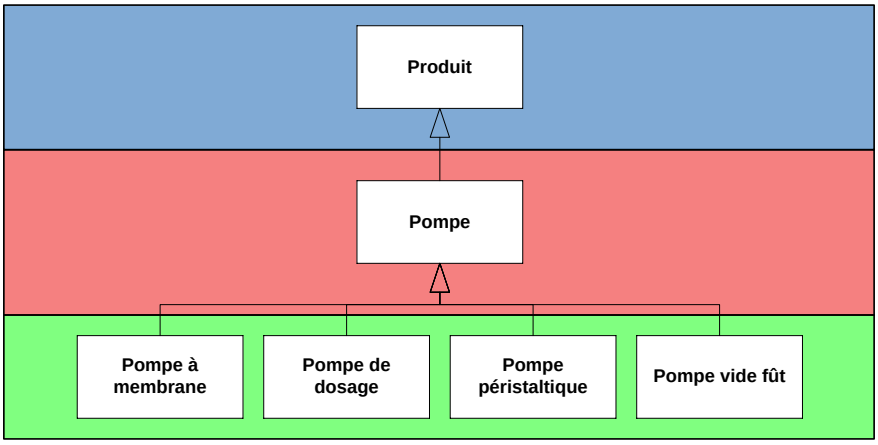


Figure 4-17: Spécialisation du produit

L'exemple Figure 4-18 s'intéresse à la spécialisation de l'activité avec un modèle partiel pour les entreprises travaillant sur les traitements de surfaces et les traitements thermiques. Le modèle particulier propose quant à lui une spécialisation du traitement thermique avec le recuit, le post-traitement et le durcissement.

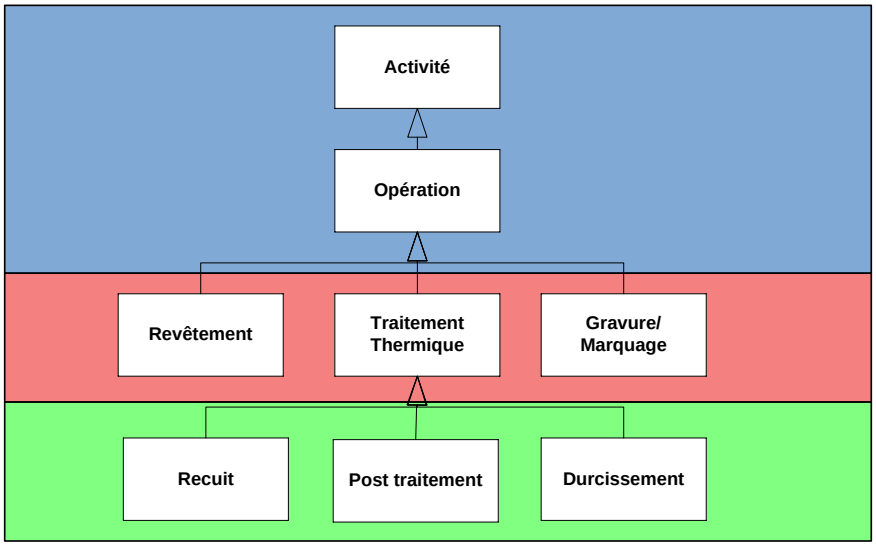


Figure 4-18: Spécialisation de l'opération

4.1.2.2 Quelles informations échanger ?

Les échanges d'informations techniques entre entreprises peuvent se faire via les PLM de chaque entreprise. Deux entreprises de domaines différents peuvent échanger sans effort des informations du modèle générique (Figure 4-19).

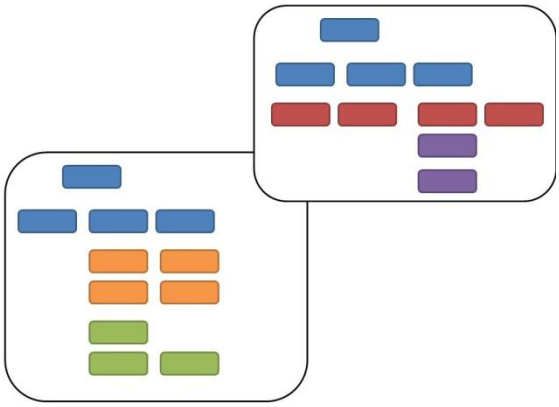


Figure 4-19: Deux entreprises de domaines différents

Ce niveau d'échange est souvent suffisant pour une communication inter-entreprise. Il permet l'échange d'informations sur le produit mais également sur ses fonctions ou sa gamme de fabrication. Les informations échangées sont alors les informations contenues dans le modèle générique. On y retrouve les informations concernant le produit, comme la référence, la

désignation, la version, la liste des composants…, mais également les informations concernant les opérations, comme la liste des opérations de la gamme de fabrication, les postes de charge utilisés, les outils et outillages utilisés… ou encore les informations concernant les fonctions, comme les fonctions de services du produit, leurs flexibilités…

Deux entreprises du même domaine peuvent échanger sans effort des informations du modèle générique et du modèle partiel (Figure 4-20), ce qui permet des échanges d'informations spécifiques au domaine. Dans ce cas les informations échangées seront, en plus des informations du modèle générique, des informations spécifiques du type puissance, consommation ou encombrement pour des fabricants de moteurs par exemple.

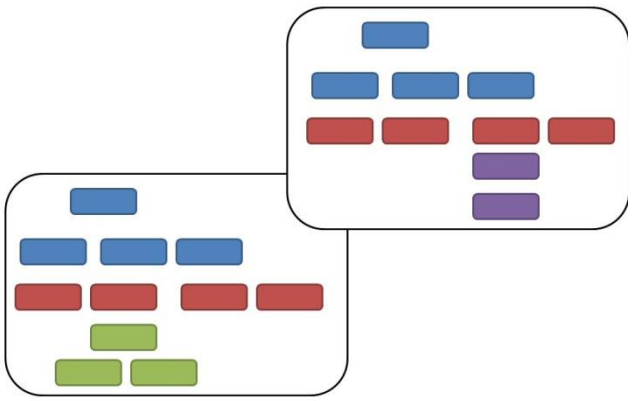


Figure 4-20: Deux entreprises du même domaine

Néanmoins, comme pour beaucoup de modèles, l'interopérabilité n'est valable que si les deux entreprises utilisent le modèle proposé ici. Nous proposons un cadre qui permet un échange sémantique de haut niveau et donne une interopérabilité par un alignement de modèles.

4.1.3 Conclusion sur le cadre de modélisation

La conception d'un cadre a permis d'obtenir un système besoins/processus/objets d'entreprise cohérent pour les trois entreprises pilotes.

Nous proposons une représentation du système Figure 4-21. Ce cadre permet de faciliter la spécialisation de modèles pour l'implémentation de systèmes PLM.

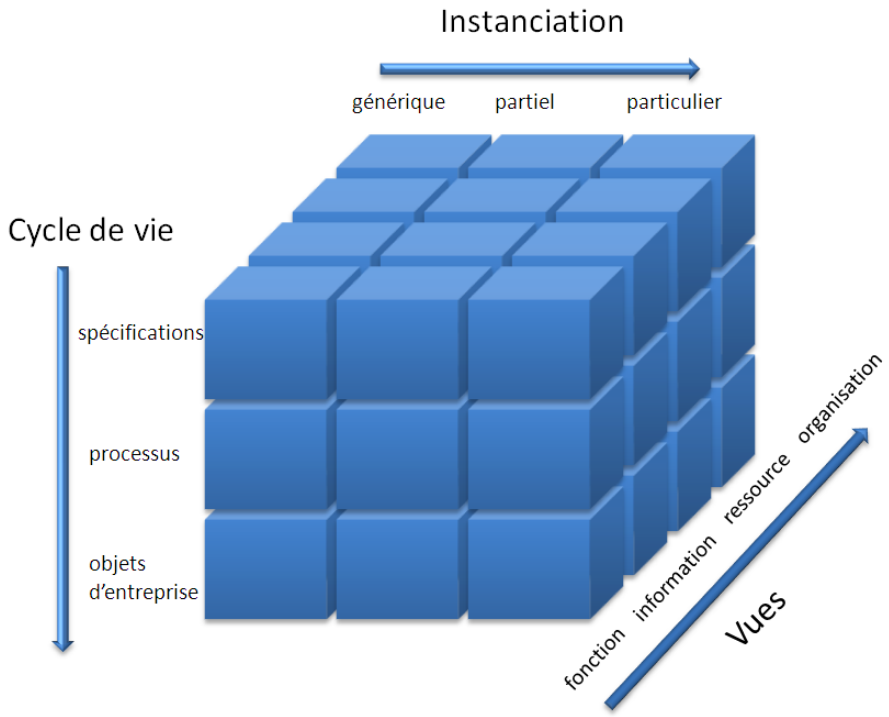


Figure 4-21: Cadre de modélisation

Les trois composants du système proposé, spécifications, processus et objets d'entreprise sont présents en abscisse. L'ordonnée représente l'instanciation des trois composants, c'est-à-dire le niveau générique, le niveau partiel et le niveau particulier. Enfin la profondeur représente les différentes vues sur le système proposé, fonction, information, ressource et organisation.

Notre modèle générique propose une unification des trois vues fonction, information et ressource. Il intègre également la vue organisation qui coordonne ces trois vues. Nous aurions donc pu avoir un cadre à deux dimensions pour la partie modèle, en supprimant l'axe vues pour le modèle. Nous préférons garder cet axe pour mettre en évidence les différentes parties à modéliser, même si elles sont toutes intégrées à notre unique modèle générique. De plus, ces différentes vues sont à prendre en compte lors de la spécification des besoins et la définition des processus.

4.2 Utilisation du cadre : implémentation d'un système PLM

L'implémentation de systèmes PLM nécessite de nombreuses étapes. Deux d'entre elles sont la définition du modèle de données adapté aux besoins de l'entreprise et la création du référentiel de cette entreprise (Figure 4-22).

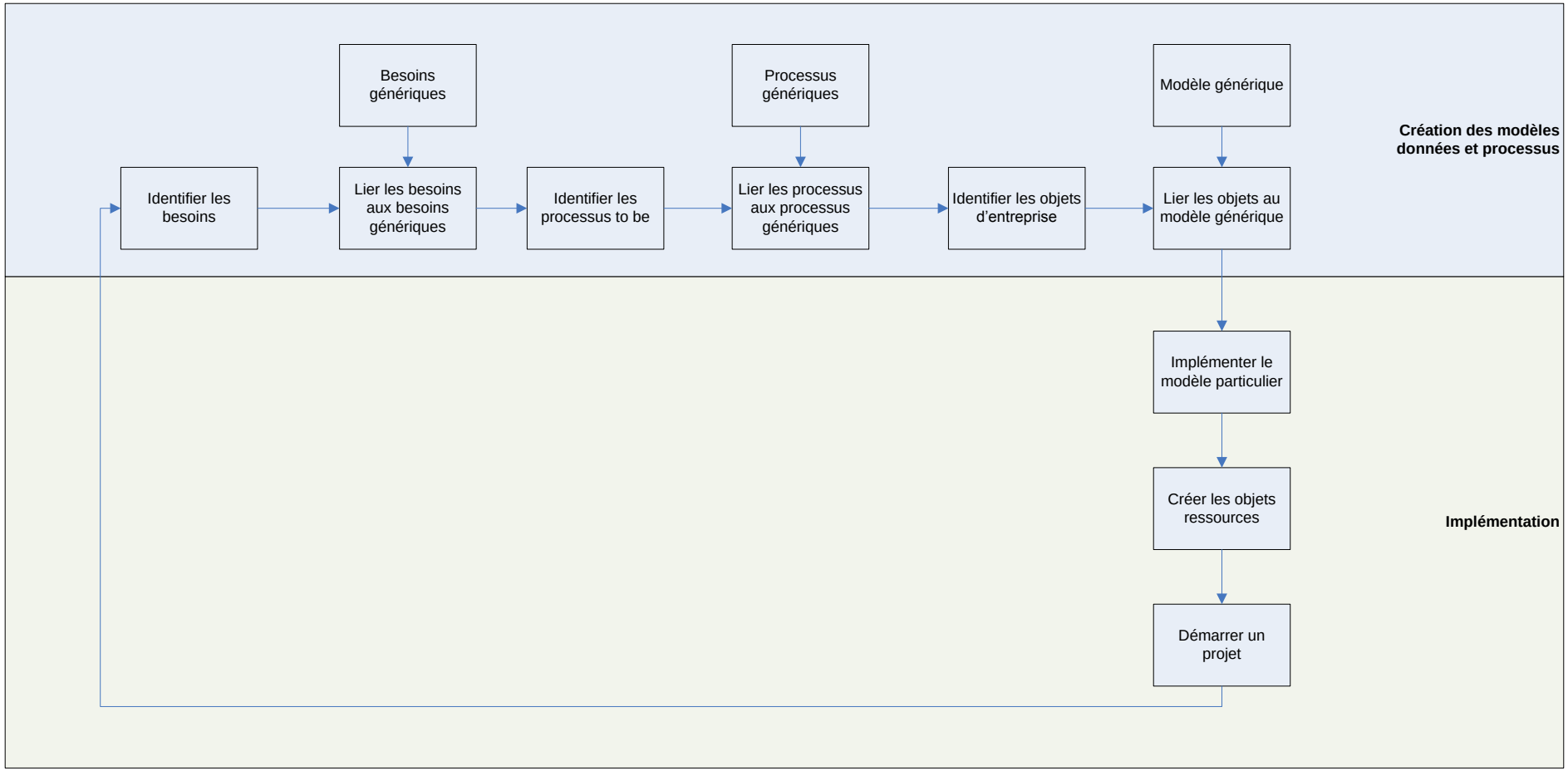


Figure 4-22: Méthode d'utilisation du cadre

4.2.1 Création du modèle particulier

Nous partons de l'analyse des besoins afin de spécifier les processus mis en œuvre dans ces besoins, puis nous en extrayons les objets. Reste ensuite à spécialiser le modèle générique pour retrouver les objets précédemment identifiés.

1. **Identification des besoins :** L'identification du besoin se fait par une suite d'interviews, d'observations et d'immersions. Cette identification est facilitée par le choix possible des besoins de l'entreprise directement dans la carte de besoins globale.

2. **Processus à mettre en place :** La modélisation des processus doit se faire en concertation avec les experts. Il est possible de reprendre des processus proposés dans notre processus de développement produit.

3. **Objets d'entreprise à modéliser :** L'indentification des objets se fait en analysant les intrants et les extrants de ces processus. En se basant sur le modèle générique, il faut spécialiser ses objets pour obtenir les objets spécifiques identifiés dans l'entreprise.

Toutes ces phases s'appuyant sur des modèles génériques prédéfinis, la difficulté d'implémentation d'un système PLM en est réduite.

Les phases d'instanciation du modèle générique sont retranscrites en Figure 4-23.

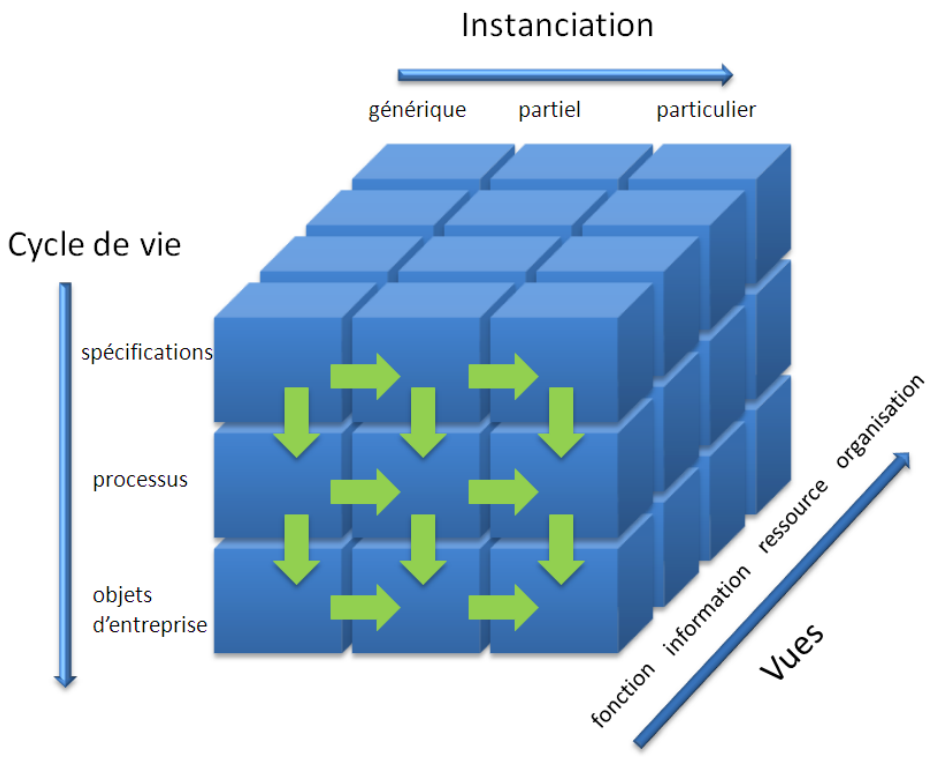


Figure 4-23: Méthode d'instanciation du modèle générique

Le paragraphe suivant propose une méthode pour construire le référentiel de l'entreprise.

4.2.2 Création du référentiel de l'entreprise

La première chose à faire une fois le système PLM implémenté est de définir le référentiel de l'entreprise. Deux méthodes sont alors possibles :

- La première est de lancer l'utilisation du PLM sur les nouveaux projets. La création du référentiel de l'entreprise contenant l'ensemble des objets utilisés dans cette entreprise se fait alors au fil de l'eau. Au fur et à mesure que les projets demandent des objets pour la première fois, ils doivent être créés. Cette méthode est simple à mettre en œuvre, mais les premiers projets risquent d'être d'autant plus difficiles que les objets nécessaires seront à créer. Cette méthode est la plus efficace si la réutilisation des objets d'un projet à l'autre est assez faible, comme c'est le cas des PME mécaniciennes produisant des petites séries ou de l'unitaire.

- La deuxième méthode propose de créer l'ensemble des objets dès le lancement du premier projet. Cette étape de transfert de l'historique est souvent longue et fastidieuse puisqu'elle demande de créer l'ensemble des produits, opérations, postes de charge… de l'entreprise. Elle permet par la suite d'être plus efficace sur chaque projet à venir si ces projets réutilisent les objets précédemment utilisés dans l'entreprise. C'est le cas des PME mécaniciennes qui produisent des moyennes et grandes séries.

Deux systèmes d'informations principaux dans les PME mécaniciennes permettent de faciliter la création de ce référentiel : l'ERP et la CAO.

L'échange avec l'ERP repose principalement sur la remontée des gammes et des nomenclatures de l'ERP vers le PLM. Les produits, opérations et postes de charge sont alors transmis. Une liaison avec l'ERP permet de récupérer l'ensemble des articles, opérations et postes de charge de l'entreprise et d'instancier les classes correspondantes dans le système.

L'échange avec la CAO se fait sur la structure du produit. Les géométries des composants et leurs matières sont également présents. Enfin, selon les entreprises, certains attributs tels les références, les fournisseurs, les versions… peuvent être contenus dans la CAO. Toutes ces informations sont à synchroniser avec le PLM.

Ainsi le premier référentiel obtenu grâce à ces deux outils est la liste des articles utilisés par l'entreprise avec leurs modèles CAO, la liste de leurs opérations et les postes de charge associés.

Remarquons que si ces deux systèmes sont présents dans l'entreprise, la CAO et l'ERP seront alors synchronisés, mais en passant par un système PLM qui servira à intégrer ces deux vues en les consolidant.

4.3 Conclusion sur le cadre de modélisation

Ce quatrième chapitre a présenté la construction d'un cadre à partir des trois cas d'étude du chapitre précédent. Il comprend une carte de besoins sur le PLM, un modèle de processus de développement produit et un modèle de données générique.

Le modèle a été spécialisé en trois niveaux (générique, partiel et particulier) pour permettre d'arriver à un niveau spécifique en accord avec les besoins réels de l'entreprise. Ce système permet de lier le niveau expert de la gestion d'informations, celui des KBS, et le niveau d'échange entre les SI, celui des applications PLM.

Le cadre facilite l'implémentation du système PLM en aidant la création du modèle de données et du référentiel de l'entreprise en s'appuyant sur les besoins de l'entreprise. En effet les liens entre les besoins et les processus, et les liens entre les processus et les objets d'entreprise sont présents. Cela permet par exemple de ne choisir qu'un petit nombre de besoins et d'obtenir ainsi une proposition des processus minimum à mettre en place, et le modèle de données qui va avec, sans l'alourdir d'objets inutiles pour cette entreprise.

Le chapitre suivant va proposer des instanciations du modèle et leurs utilisations par un démonstrateur basé sur les principes de notre approche et sur notre modèle générique.

Application du modèle

5. Application du modèle

Ce chapitre présente l'implémentation de l'approche proposée par la proposition d'une méthode d'instanciation, la réalisation d'un démonstrateur et son utilisation sur des cas d'études industriels. Cela nous permettra de déterminer la faisabilité de l'implémentation du système ainsi que l'utilité de ce système par sa confrontation avec des cas industriels.

5.1 Démonstrateur

5.1.1 Architecture et choix techniques

L'architecture du démonstrateur a été définie pour répondre aux objectifs du Cetim qui souhaitait évaluer la complexité de développement d'un système PLM. Pour cette raison le démonstrateur présente une architecture et une interface proches des systèmes existants mais ne se base pas sur un logiciel PLM du marché.

Le démonstrateur a une architecture serveur / client riche (Figure 5-1). Le client est développé en VB.Net, le serveur utilise une base MS Access. Ils communiquent par des requêtes SQL via intranet ou internet en http ou https.

Le choix de la base de données a été réalisé pour faciliter le développement du démonstrateur. Dans l'optique d'une solution industrialisée, la base de données choisie serait une base plus robuste, type MS SQL Server ou MySQL.

La technologie Microsoft.Net est choisie pour sa facilité de mise en œuvre et sa robustesse dans l'utilisation des Framework Windows et sa documentation fournie pour l'utilisation des API[41] CAO, particulièrement Dassault Systemes SolidWorks.

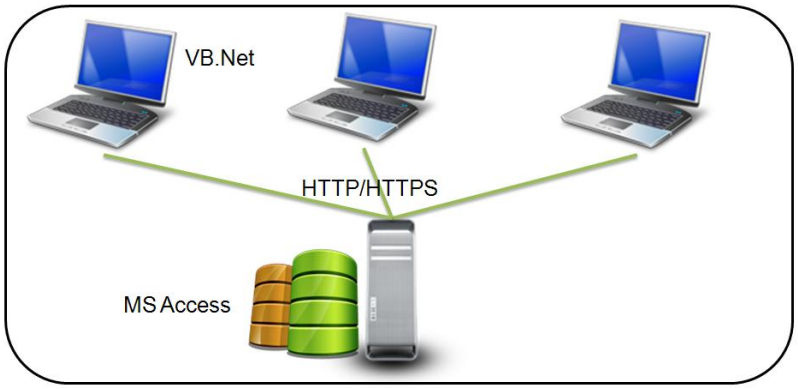


Figure 5-1: Architecture du démonstrateur

[41] Application Protocole Interface

Pour l'utilisation du démonstrateur, trois configurations réseaux sont possibles (Figure 5-2) :

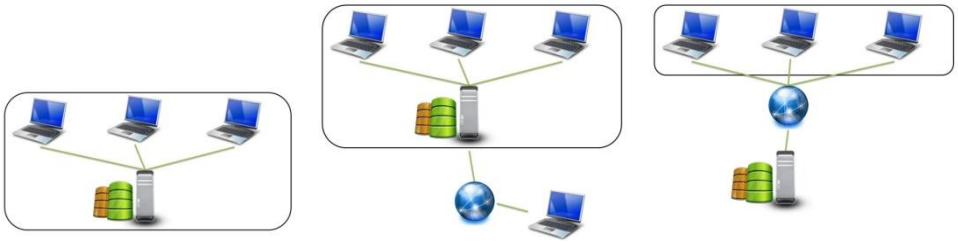


Figure 5-2: Configuration 1, 2 & 3

La première configuration utilise un serveur interne uniquement. Le serveur est présent dans l'entreprise et accessible via intranet uniquement. Cette solution ultra sécurisée est réservée aux entreprises qui souhaitent utiliser le système de façon restreinte. Les clients et les fournisseurs de celle-ci ne pourront intervenir sur le système que s'ils ont un accès à l'intranet de l'entreprise.

La seconde configuration est la mise en place du serveur sur un serveur interne mais accessible depuis l'extérieur. L'utilisation du système peut alors se faire depuis l'intranet, mais également depuis l'extérieur de l'entreprise via une connexion internet. Les clients, les fournisseurs et les collaborateurs en mission peuvent alors utiliser le système.

La troisième configuration possible est la mise en place du serveur sur un serveur distant, extérieur à l'entreprise. Toutes les connexions se font alors via internet. Les clients, les fournisseurs et les collaborateurs utilisent alors le même type d'accès. Une variante de cette configuration est le model ASP[42]. Le serveur est alors installé sur un serveur distant pour plusieurs entreprises en même temps. Une société s'occupe du serveur et de l'administration du logiciel pour l'ensemble des entreprises contre un abonnement mensuel ou annuel. Cette variante a l'avantage de répartir les coûts d'administration.

Si les trois configurations sont utilisables, le manque de compétences PLM dans les PME mécaniciennes et le coût élevé des logiciels donnent de solides arguments pour une solution ASP.

5.1.2 Interface

L'interface (Figure 5-3) est constituée d'une barre d'outils en haut, d'une arborescence à gauche, d'une fenêtre principale à droite, d'une carte de données en bas à droite et d'un visualiseur en bas à gauche.

[42] Application Service Provider

Le **visualiseur** permet de visualiser de nombreux formats de fichiers, dont les formats CAO les plus courants.

L'**arborescence** permet de gérer les objets de la base de données. L'utilisateur peut ainsi gérer les produits, fonctions, opérations, ressources et projets dont il est responsable. Ajouter, supprimer, renommer… se font via un menu contextuel apparaissant lors d'un clic droit. L'ajout d'un fichier à un objet se fait par un « déplacer » du fichier dans l'objet de l'arborescence ou directement dans la fenêtre principale. Il sera alors accessible dans la fenêtre principale par double clic.

La **fenêtre principale** permet de voir les objets et les documents rattachés à l'objet sélectionné dans l'arborescence. Ils sont classés par groupe dans la fenêtre principale : un groupe **documents**, un groupe **nomenclature** qui regroupe les produits ayant un lien « est composé de » avec l'objet, un groupe **gamme** qui regroupe les opérations rattachées à l'objet, un groupe **postes de charge** pour les postes de charge ayant un lien avec l'objet et un groupe **cas d'utilisation** pour les produits ayant un lien « est utilisé dans » avec l'objet.

La **carte de données** permet de visualiser et de modifier les valeurs des attributs de l'objet sélectionné. Ces attributs sont fonction de la classe de l'objet et des différents héritages que sa classe possède.

La **barre d'outils** est constituée de deux groupes de boutons principaux : le bouton d'ajout d'objet et les boutons de changement de vues. L'ajout d'objet permet de créer un objet de la classe de son choix.

Trois boutons représentent les trois vues implémentées dans le démonstrateur. Les trois vues implémentées se nomment vue structure, fonction et fabrication.

- La vue **structure** permet de voir les objets de classe produit uniquement. Une structuration spécifique à cette vue est possible.
- La vue **fonction** permet de voir les objets de classe produit et les objets de classe fonction. Il permet également de structurer les assemblages avec une vue fonctionnelle.
- La vue **fabrication** permet de voir les objets de classe produit, opération et poste de charge. De même que dans les autres vues, une structuration selon la vue fabrication est possible.

Les liaisons entre les vues sont assurées par le fait que chaque objet est unique dans la base. Un changement sur un objet dans une vue entraine donc sa modification dans les autres vues également.

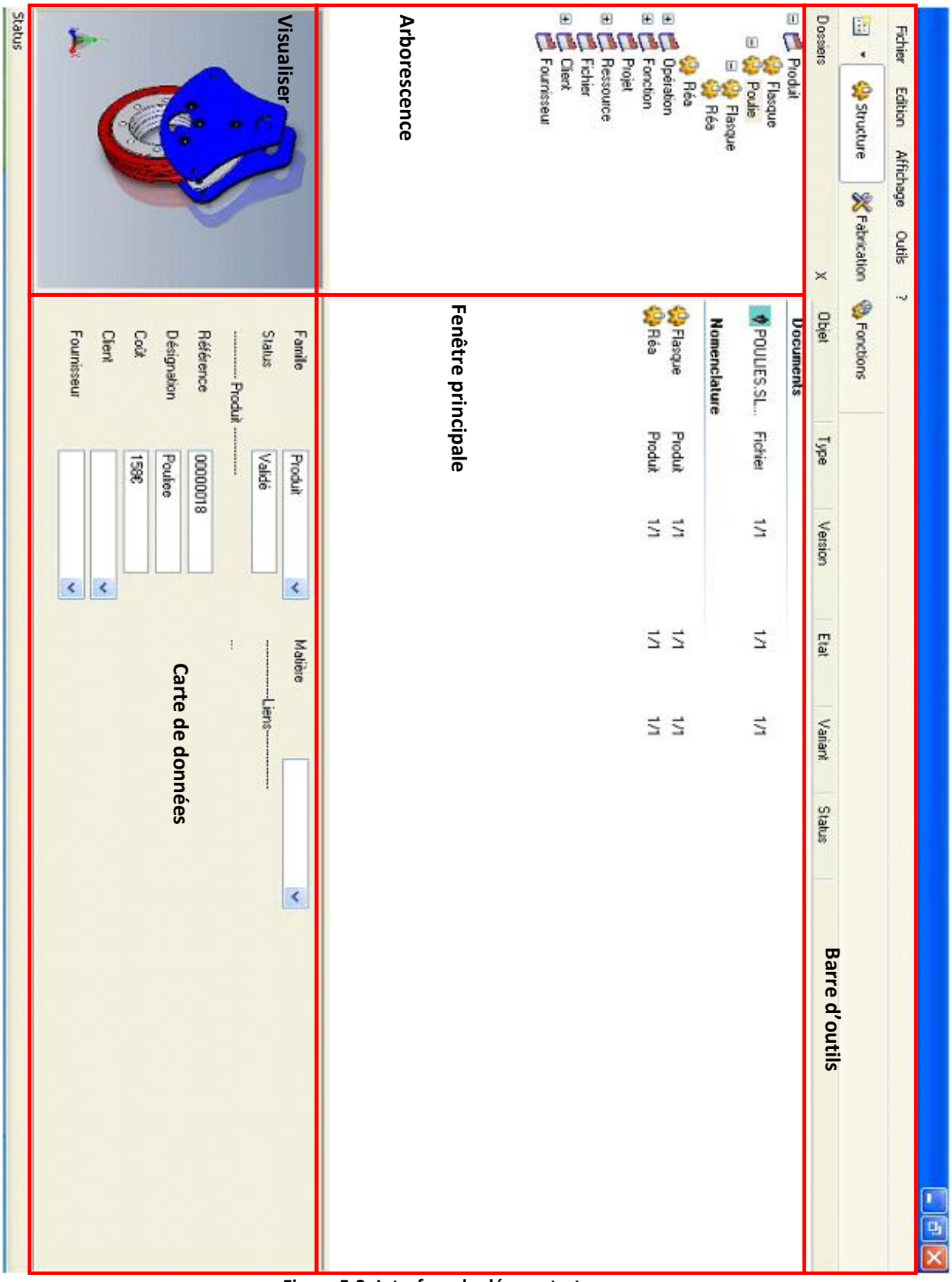


Figure 5-3: Interface du démonstrateur

5.1.3 Fonctionnalités

Le démonstrateur propose les fonctionnalités usuelles des systèmes PLM. Il est donc possible de gérer les classes d'objets, les attributs, les versions et les statuts des objets et des documents et les droits des utilisateurs.

Les fonctionnalités de création, de suppression, de copie…d'objets sont calquées sur le fonctionnement des systèmes PLM existants. Il faut par exemple sélectionner un objet et faire un clic droit supprimer, presser la touche « supp » ou le faire glisser dans la corbeille pour supprimer un objet.

Classes d'objets : Le modèle générique que nous proposons est implémenté dans le démonstrateur. Chaque objet appartient à une classe, les classes principales et leurs attributs sont ceux du modèle générique. Puis chaque classe est spécialisée en sous-classes qui héritent des attributs de la classe père. De nouveaux attributs sont alors ajoutés à la sous-classe. La même spécialisation est alors réalisable sur les sous-classes et ainsi de suite.

La spécialisation d'une classe peut se faire de plusieurs façons, soit par un double clic sur l'attribut classe de la carte de données, soit par un clic droit/créer une nouvelle classe dans l'arborescence. La classe sélectionnée dans l'arborescence présélectionne la classe mère. Une fenêtre demande alors de remplir le nom et de valider la classe mère de la nouvelle classe.

Dans la Figure 5-4, la classe principale « Opération » est spécialisée en dix-huit types d'opérations différentes, elles-mêmes spécialisées. On voit par exemple que le « recuit » est une sous-classe de « traitement thermique », elle-même sous-classe d' « opération ».

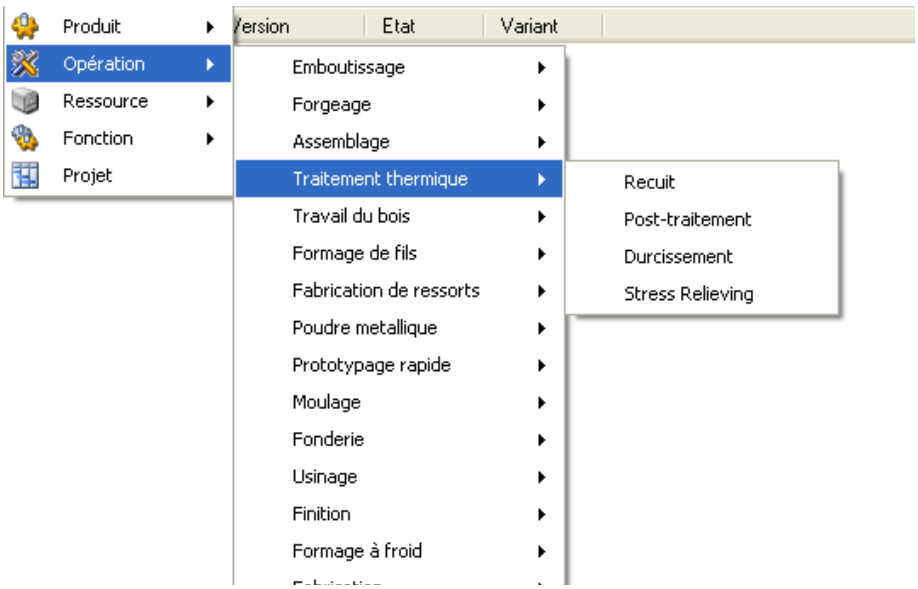


Figure 5-4: Classes / sous-classes

Attributs : les attributs présents dans le modèle sont déjà présents dans le démonstrateur. Il est possible d'ajouter des attributs aux classes du modèle de nouveaux attributs. L'ajout d'un attribut se fait par un clic sur le bouton « … » de la carte de données. Une fenêtre s'ouvre alors pour demander la classe dans laquelle l'attribut est à ajouter, son nom et son type de valeur.

Il est également possible de rajouter des attributs en spécialisant les classes du modèle. La nouvelle sous-classe aura alors les attributs de la classe mère, avec en plus les nouveaux qui lui seront spécifiques et qui seront ajoutés comme précédemment.

Statut : Le statut correspond à la maturité de l'objet ou du document. Dans notre démonstrateur, un statut est attribué à chaque objet sous forme d'attribut dans la carte des données. Les attributs par défaut sont « vide », « en cours de création », « en cours de validation », « validé », « obsolète ». Ces statuts sont pour l'instant modifiés manuellement par l'utilisateur qui dispose de droits suffisants. Les statuts sont en fait les états des documents, qui correspondent à leur progression dans leur propre cycle de vie.

Les versions : Certain systèmes proposent de pouvoir monter en version les différents documents présents dans le système PLM. D'autres, moins nombreux, proposent de monter en version les objets. En ce qui concerne notre démonstrateur, il est possible de gérer les versions sur chaque objet et sur chaque document séparément (Figure 5-5). En effet, les besoins diffèrent selon les entreprises et le coût de l'espace disque n'est plus une entrave à l'accumulation de version, à condition qu'elles soient utiles. Les utilisateurs demandent un système de montée en version choisie. Ainsi, alors que d'autres systèmes montent en version tout document modifié, notre démonstrateur propose une montée en version volontaire de la part de l'utilisateur, sur un clic souris. Ainsi retrouver une version précise devient plus facile car seules les versions choisies par un utilisateur sont conservées. Nous sommes conscient que ce gain entraine une diminution de la traçabilité des modifications, mais ces versions automatiques ne sont que très peu utilisées par les PME. Pour ce qui est de la montée en version d'un objet, une question se pose sur les autres objets qui lui sont liés. Dans notre démonstrateur, cette nouvelle version entraine la mise à jour des objets pères qui lui sont liés. Un choix est alors possible, soit mettre à jour le composant (prendre la nouvelle version de l'objet fils) et monter en version l'objet père, soit mettre à jour le composant et ne pas monter en version l'objet père, soit rester sur l'ancienne version du composant.



Figure 5-5: Gestion des versions

La gestion des droits d'accès : Les logiciels actuels proposent une utilisation hiérarchique des droits, ce qui permet une utilisation plus sécurisée. Avec des procédures moins formalisées que celles des grands groupes, cette configuration impose une rigidité et un manque de flexibilité difficilement acceptable en PME. Les systèmes PLM deviennent trop souvent des armoires à archives pour les documents validés, car les utilisateurs ne peuvent les utiliser au jour le jour. Par exemple, s'il est nécessaire d'ajouter une nouvelle personne sur un projet, il faut faire une demande et attendre que l'administrateur rajoute cette personne. Or faute de temps, l'utilisateur utilisera alors plutôt un e-mail pour envoyer son document. Une deuxième version du document circule alors en parallèle de celle du PLM, perdant ainsi le premier bénéfice du PLM : avoir des documents toujours à jour.

Pour contrer ce problème nous préconisons une administration des droits d'accès où chaque utilisateur gestionnaire d'un dossier pourra gérer les droits sur son dossier. Il existe trois rôles distincts pour notre gestion des droits (Figure 5-6). Le rôle de lecteur, qui peut lire les informations et les documents. Le rôle de contributeur, qui peut lire et modifier les documents et informations. Et le rôle de gestionnaire, qui peut lire, modifier, créer, et gérer les droits.

Pour chaque objet, les rôles sont attribués par le gestionnaire. Afin de faciliter cette gestion des droits, plusieurs principes sont appliqués. Lors de la création d'un objet, il hérite des droits de l'objet père. Lors de la création d'un objet sans lien avec un objet père, le créateur devient gestionnaire de l'objet et peut distribuer les droits sur l'objet en question.

Un système de groupe est également mis en place afin de permettre d'attribuer des droits identiques à plusieurs utilisateurs simultanément.

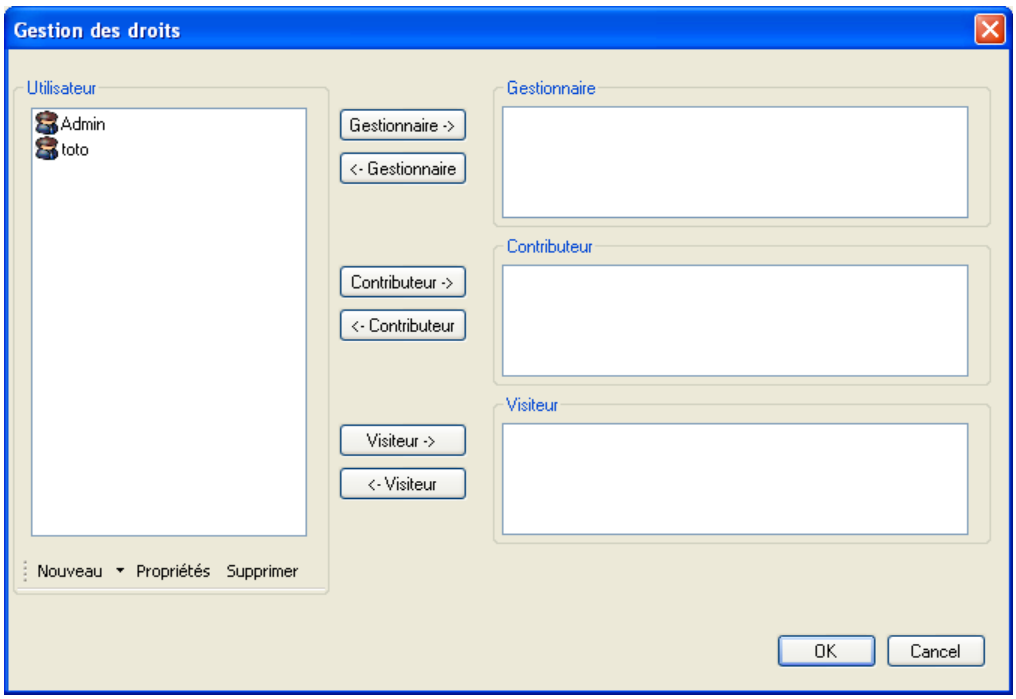


Figure 5-6: Gestion des droits

Le paragraphe suivant va proposer l'application du démonstrateur dans un cas d'étude. Ce cas est choisi de manière à parcourir un grand nombre des besoins identifiés dans notre cadre.

5.2 Cas d'application

Le cas d'étude est choisi afin de recouvrir un maximum des besoins identifiés. Les besoins qui sont étudiés sont soit ceux qui apportent la possibilité d'incorporer des fonctionnalités métiers, soit ceux qui améliorent les fonctionnalités standards. Les besoins choisis sont : la gestion de famille de produits, le lien avec les fournisseurs, la différentiation produit interne/ produit acheté, la liaison entre attributs fonctionnels et attributs de conception, les multivues, la liaison avec la CAO, la liaison avec l'ERP, la gestion des gammes de fabrication, et l'indicateur de coût.

Ce cas d'application permet ainsi d'illustrer une partie des besoins génériques identifiés Figure 5-7. Les besoins marqués d'un drapeau vert ont été développés dans le démonstrateur. Les besoins entourés de pointillés rouges sont ceux que nous allons étudier dans notre cas d'étude.

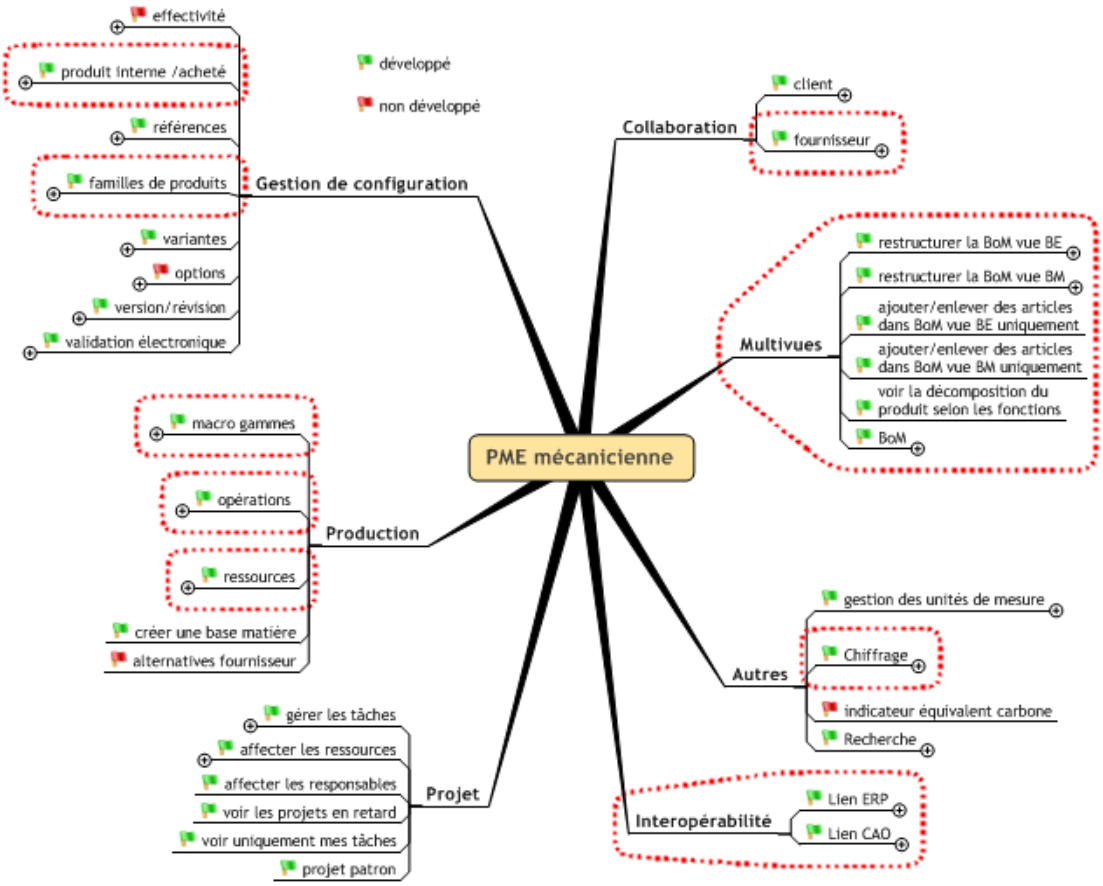


Figure 5-7: Carte de besoins globale simplifiée

- Famille de produit :

Pour créer une nouvelle famille de produit l'utilisateur doit faire un clic droit sur le dossier produit et sélectionner nouveau. Une nouvelle sous-famille apparait alors sous forme de sous-dossier, correspondant à une spécialisation de la classe produit, c'est-à-dire que cette famille héritera des attributs de la classe produit et pourra en contenir de nouveaux. Dans notre exemple, les produits sont divisés en trois familles, poulies, palans et taquets. Des sous-familles peuvent être créées en reproduisant la même procédure sur les dossiers des familles.

- Lien avec le fournisseur :

Les composants achetés peuvent être pris directement sur le système PLM du fournisseur. Pour cela il faut aller sur le dossier fournisseur, puis sur le dossier correspondant au fournisseur choisi. Apparaissent alors dans la fenêtre principale les composants du fournisseur (Figure 5-8). Un « déplacer » du composant du fournisseur vers le produit permet d'ajouter le composant en question au produit.

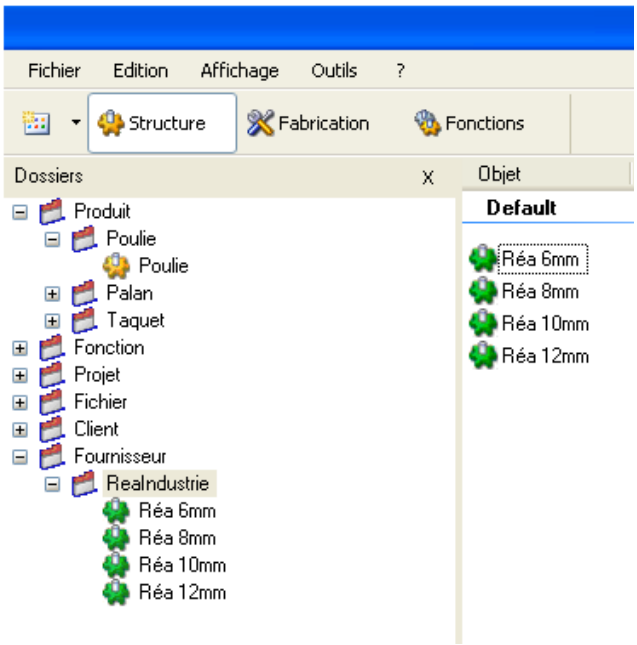


Figure 5-8: sélection d'un article chez un fournisseur

- Différentiation produit acheté / produit fabriqué en interne :

Le composant est alors présent dans le référentiel du produit avec un code couleur pour le différencier des produits fabriqués en interne (vert pour les produits achetés et jaune pour les produits internes) (Figure 5-9). Par exemple, une poulie est constituée de composants fabriqués en interne, tels les flasques et de composants achetés, tels les réas.

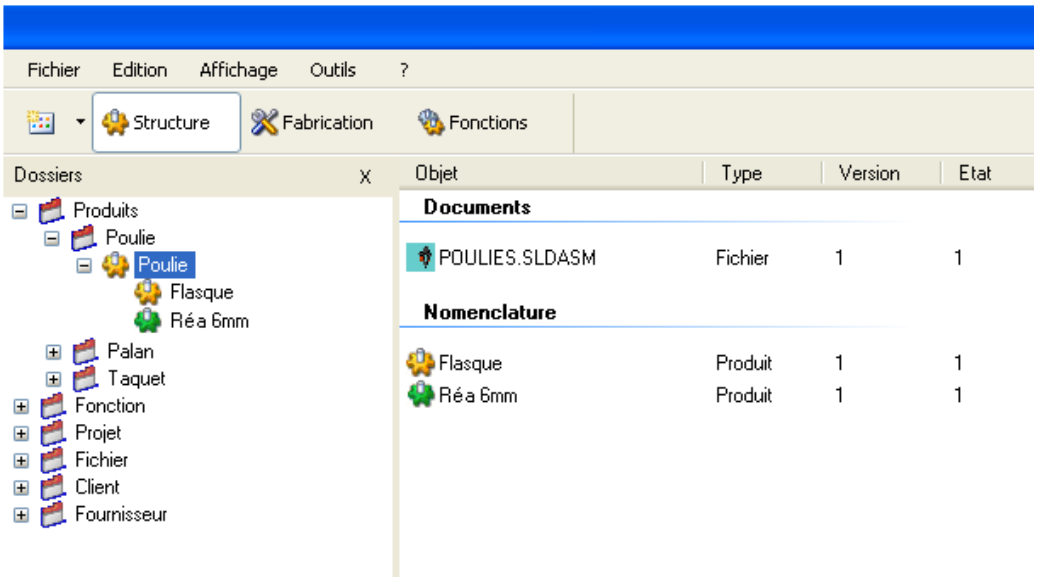


Figure 5-9: Décomposition structurelle d'une poulie

- Vue structure / vue fonctionnelle :

Dans la vue structure, les composants de la poulie se décomposent dans l'arborescence. Pour obtenir une vue fonctionnelle, l'utilisateur doit changer de vue pour passer sur la vue fonctionnelle. Il peut alors créer des fonctions sous le produit et y déposer les composants réalisant cette fonction (Figure 5-10).

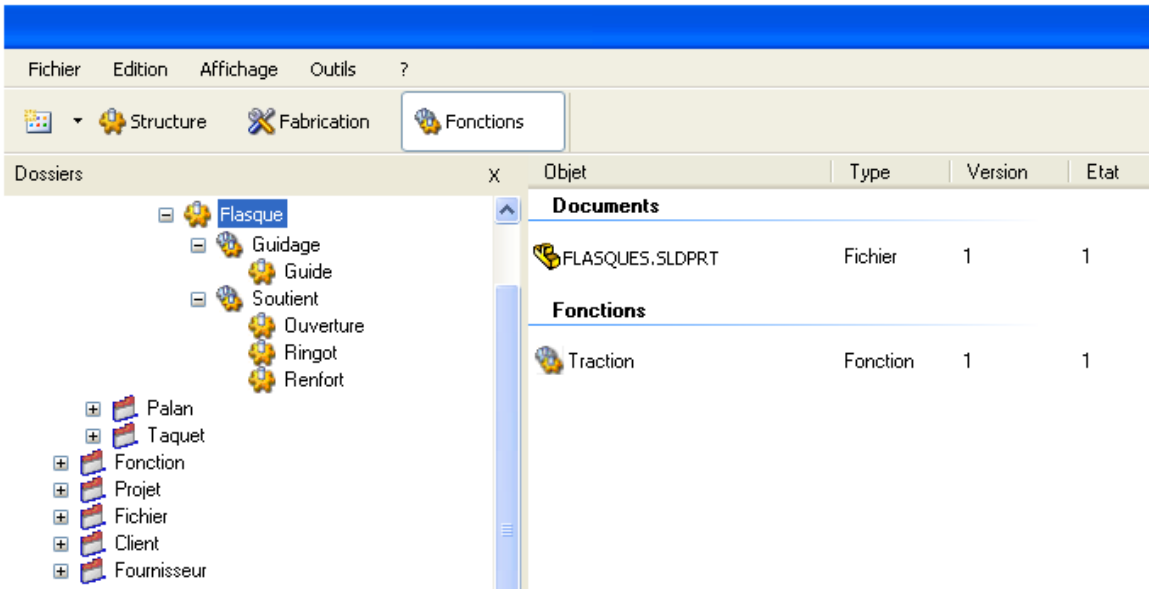


Figure 5-10: Décomposition foncionnelle d'un flasque

- Liaison entre attributs fonctionnels et attributs de conception :

Les fonctions possèdent également des attributs dans la carte de données. L'utilisateur peut ainsi attribuer des valeurs aux fonctions du produit.

Il peut ensuite lier des paramètres fonctionnels avec des paramètres de conception et répercuter l'impact d'un changement fonctionnel sur la géométrie du produit et inversement.

En déposant la CAO du produit dans l'objet produit correspondant, il crée un lien entre les attributs du produit et les attributs de la CAO reposant sur le nom des attributs (s'il y a un attribut longueur sur l'objet et dans la CAO, le système les reconnaitra et considérera qu'ils sont à synchroniser).

Pour lier ces attributs de conception aux valeurs des fonctions, l'utilisateur doit entrer comme valeur dans les attributs des objets sous-produit la formule qui lie ce paramètre aux valeurs des fonctions, par exemple : « = 3* attribut1@fonction1 + 2* attribut3@fonction2 ». Le paramètre de conception sera alors égal à trois fois l'attribut 1 de la fonction 1 et deux fois l'attribut 3 de la fonction 2. A la prochaine ouverture de la CAO, ces paramètres seront intégrés et la géométrie du sous-produit changera pour respecter automatiquement ces valeurs.

Pour lier les attributs des fonctions aux valeurs des paramètres de conception, l'utilisateur doit entrer la formule dans les attributs des fonctions. Il rentrera alors une formule du type « = attribut1@produit1 + 2* attribut2@produit2 ». Ainsi lors des changements des cotes de la CAO, les valeurs des fonctions seront impactées directement.

- Lien avec la CAO :

Le concepteur importe l'arborescence d'assemblage du produit par un déplacer du fichier CAO depuis son bureau vers l'objet produit correspondant. L'arborescence de la CAO est alors reproduite dans la vue structure. Les composants sont automatiquement créés, leurs modèles CAO sont alors chargés dans les objets correspondants (Figure 5-11).

Liaison CAO : un lien est implémenté entre le démonstrateur et un logiciel CAO. Dans cet exemple il s'agit du logiciel SolidWorks. Un assemblage CAO contient la structure du produit. Ainsi lors de l'importation d'un assemblage dans le démonstrateur, celui-ci crée les objets composants de l'assemblage. Il y importe également automatiquement les fichiers CAO des composants. Enfin il vérifie s'il n'y a pas d'attributs enregistrés dans les fichiers, auquel cas il les importe également.

- Vue structurelle / vue fabrication :

Ce cas d'étude permet de gérer les nomenclatures produit avec les vues qui correspondent aux points de vue du concepteur (Figure 5-11) et du responsable des méthodes (Figure 5-12).

La composition d'un produit n'est pas la même selon le métier que l'utilisateur exerce dans l'entreprise. Il n'y a pas de vue universelle qui convienne à tous les métiers et chaque vue métier apporte des facilités d'utilisation pour ses utilisateurs.

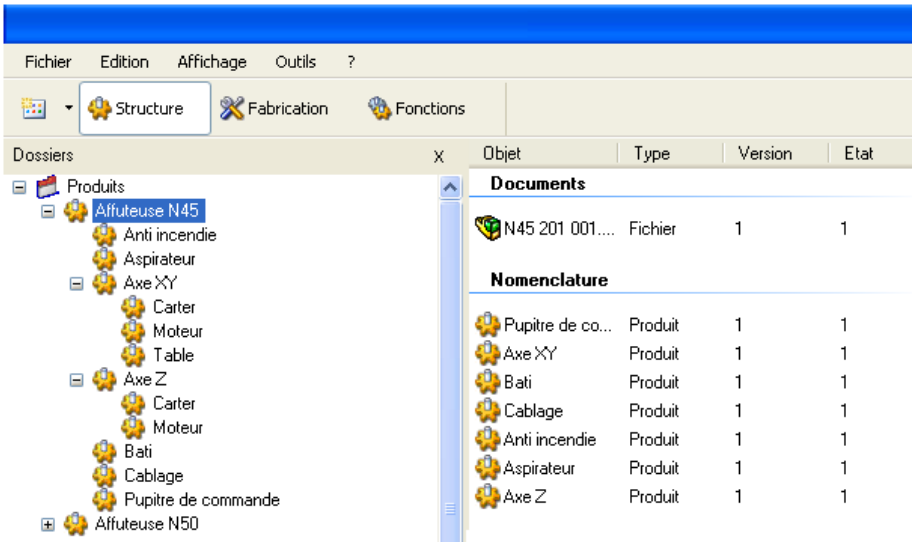


Figure 5-11: Vue structure d'une affûteuse

Le service méthodes va venir créer la gamme de fabrication du produit. Il crée donc les différentes opérations en y déposant les composants déjà présents par déplacer dans l'arborescence du démonstrateur. Il rajoutera dans chaque opération, en plus des composants entrants, les postes de charge et outils nécessaires à l'opération. Le composant sortant de l'opération est alors présent dans l'arborescence en amont de l'opération, les ressources nécessaires se situant en aval.

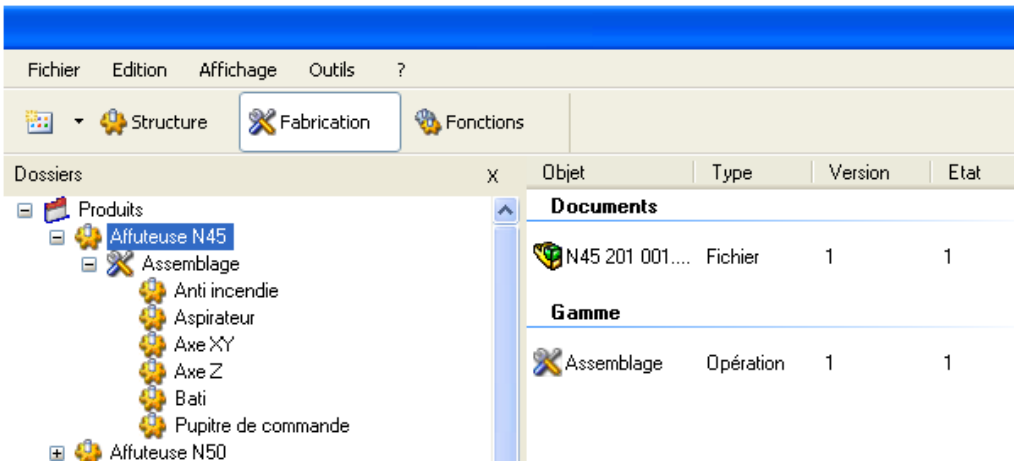


Figure 5-12: Vue fabrication d'une affûteuse

Dans chaque vue des objets peuvent être ajoutés de manière mono-vue, c'est-à-dire qu'ils ne seront présents que dans cette vue et pas dans les autres. C'est par exemple le cas pour l'ajout de la graisse dans une nomenclature vue méthode, qui peut ne pas être répercuté sur la vue CAO.

- Lien avec l'ERP :

La vue fabrication peut être synchronisée avec l'ERP afin d'obtenir les gammes et nomenclatures à jour dans l'ERP.

Liaison ERP : une liaison avec un ERP a été implémentée. Cette liaison permet de récupérer l'ensemble des informations de l'ERP (articles, opérations, postes de charge, avec leurs attributs respectifs). Il récupère alors la gamme et la nomenclature de l'article et l'envoie dans le PLM. Cette fonctionnalité est pour l'instant implémentée sur l'ERP EFACS[43] d'EXEL Computer System utilisant la base de données d'IBM, Informix[44].

- Création des gammes :

La gamme de fabrication peut être créée soit manuellement, soit importée depuis l'ERP. Pour une création manuelle des gammes de fabrication, l'utilisateur va créer les différentes opérations dans le produit cible. Il pourra alors définir les opérations optionnelles ou les opérations alternatives, ainsi que les opérations sous-traitées qui apparaitront alors en vert et non en jaune (Figure 5-13).

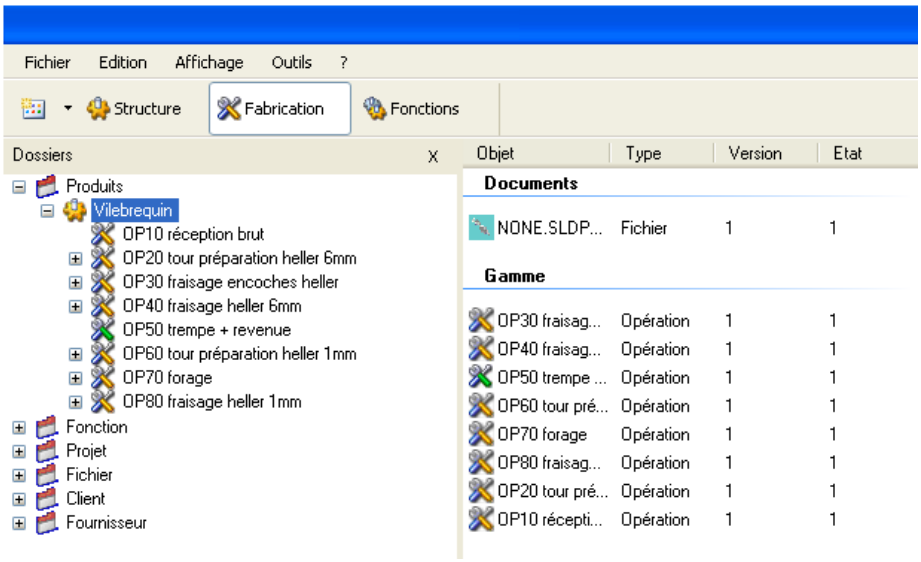


Figure 5-13: Gamme de fabrication d'un vilebrequin

[43] Site d'EFACS, http://www.exel.co.uk, consulté le 19/02/2010.

[44] Site d'Informix, http://www-01.ibm.com/software/data/informix/, consulté le 19/02/2010.

Il charge ensuite les ressources nécessaires à l'opération en y déposant les machines, outils, outillages ou éléments de fixation utiles (Figure 5-14). Cette opération se fait par glisser déposer depuis le dossier ressource vers l'opération des éléments nécessaires.

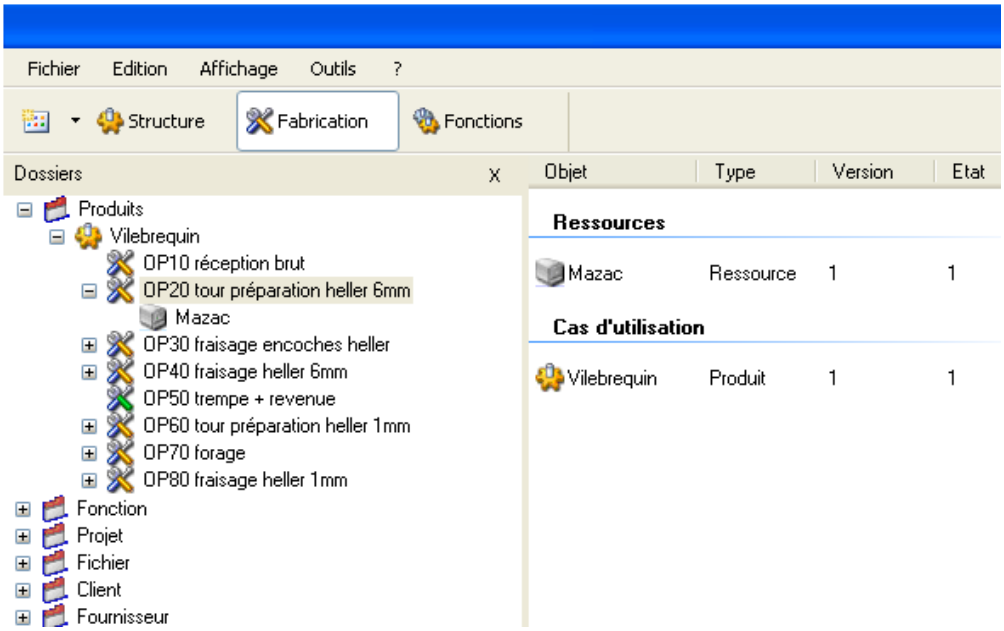


Figure 5-14: Opération OP20

- Indicateur de coût :

La notion de coût est également une demande forte, que ce soit pour le chiffrage ou simplement un attribut d'aide à la décision. Le coût reste le principal indicateur pour l'aide au choix dans les PME.

Un indicateur de suivi de coût est implémenté dans le démonstrateur. Pour connaitre une estimation du coût brut d'un produit, l'utilisateur doit d'abord créer la gamme de son produit comme indiqué dans le cas d'étude précédent. Il doit ensuite remplir les coûts des éléments de plus bas niveaux dans l'arborescence de son produit. Il indique donc le coût des composants achetés, le coût des postes de charge, et éventuellement le coût des opérations externalisées. Il faut ensuite remplir le temps d'utilisation de chaque opération afin qu'un coût de l'opération en fonction du coût d'amortissement des postes de charge soit calculé.

Ensuite le coût de chaque élément de l'arborescence est calculé en remontant de niveau en niveau et en additionnant les coûts des opérations et des composants.

Il s'agit ici d'une estimation du coût du produit proposant un indicateur d'aide au choix qui permet un classement relatif des solutions possibles en fonction du coût. Dans le cadre d'une solution industrialisée, les calculs de marges seraient gérés aux niveaux des commandes.

Coût : le coût est un attribut particulier qui existe pour les objets de classe produit, activité et ressource. Le fonctionnement est basique mais permet une première estimation du coût brut d'un produit. Le coût du produit est égal à la somme des coûts de ses objets enfants de type produit, activité ou ressource.

5.3 Conclusion sur l'application du modèle

Ce démonstrateur intègre les classes d'objets du modèle proposé. Il permet également la spécialisation des objets et attributs afin de répondre aux besoins spécifiques de l'entreprise. Enfin il permet l'échange avec des SI extérieurs sans perte d'informations. Les étapes du cycle couvert par le démonstrateur et les applications intégrées sont représentées Figure 5-15.

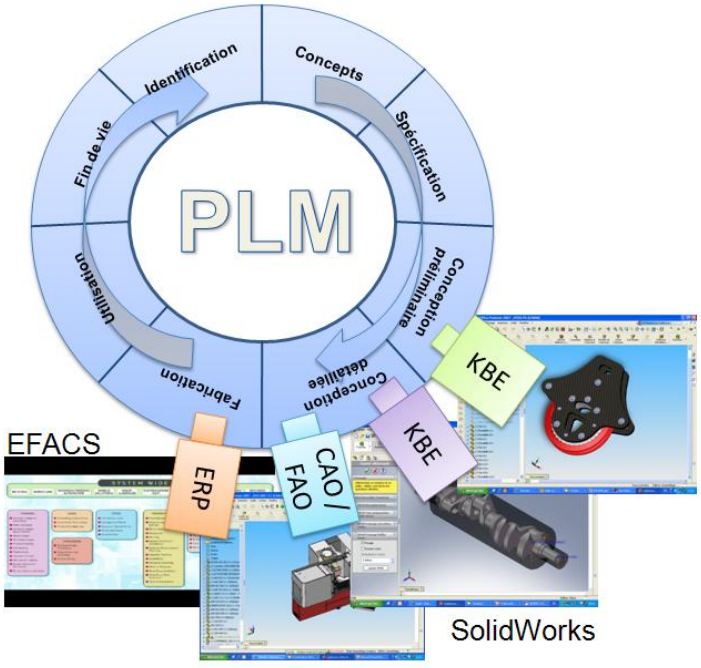


Figure 5-15: Étapes du cycle de vie couvertes par le démonstrateur

Ce chapitre démontre la faisabilité et l'applicabilité de notre approche. La faisabilité technique est démontrée par l'implémentation de nos concepts dans un démonstrateur répondant aux besoins des PME mécaniciennes. L'applicabilité est démontrée par l'utilisation de ce démonstrateur sur des cas d'application diversifiés et couvrant une large partie des besoins identifiés.

Le dernier chapitre de conclusion générale va synthétiser l'ensemble des avancées obtenues dans ces travaux.

Conclusion générale

6. Conclusion générale

Les PME mécaniciennes font face à des défis croissants. Sans une meilleure intégration dans les entreprises étendues auxquelles elles participent, elles ne pourront concurrencer les entreprises localisées dans les pays à bas coûts de main d'œuvre.

Une possibilité pour améliorer cette intégration est le paradigme PLM appliqué à l'ensemble de l'entreprise étendue. Mais les PME ne réussissent pas actuellement à s'approprier ces principes ni à en installer les supports.

Notre objectif dans ces travaux est de proposer des méthodes et des modèles permettant de faciliter l'implémentation et l'utilisation de systèmes PLM par les PME mécaniciennes.

Une analyse du contexte industriel a été menée afin de définir les grandes problématiques PLM pour les PME mécaniciennes. Après avoir constaté le faible taux de pénétration des solutions PLM dans ces entreprises, nous avons dressé une liste des verrous industriels sur le sujet.

L'état de l'art montre un manque de prise en compte du point de vue des PME. Le manque de fonctionnalités métiers dédiées aux PME peut être comblé par des KBS, à condition d'avoir une intégration suffisante avec le système PLM.

Une méthode de modélisation a été proposée. Basée sur les méthodes de modélisation d'entreprise et adaptée au système PLM en PME, elle préconise des méthodes et des langages pour une analyse de besoins, une modélisation des processus et une modélisation des objets d'entreprise. Elle a été appliquée à trois entreprises pilotes représentatives des PME mécaniciennes sur les problématiques PLM.

Un cadre de modélisation a également été proposé. Il comprend des modèles génériques construits pour les besoins, les processus et les objets. Une possibilité de spécialisation de ces modèles selon trois niveaux de généricité permet un échange sémantique de haut niveau et une interopérabilité par l'alignement des modèles.

Enfin, pour réponse aux besoins initialement définis, le développement d'un démonstrateur PLM a permis l'application des préconisations de notre cadre. La réalisation de ces besoins au travers de cas d'études nous a permis de valider notre apport aussi bien sur le plan scientifique qu'industriel.

A la fin de nos travaux, nous obtenons :

1. Une **méthode de modélisation** permettant une adéquation des modèles de données avec les besoins des entreprises. Nos principaux apports scientifiques sur ce point peuvent se résumer ainsi :

- Une méthode de modélisation **inductive**, utilisant des immersions en entreprises pour extraire les besoins implicites et explicites.
- Une méthode qui modélise **par rapport aux besoins PLM de l'entreprise**. La modélisation est ici guidée par son utilité future.
- Une méthode **qui modélise juste**, puisqu'une phase de validation par un expert est incluse dans la méthode afin d'obtenir une modélisation qui corresponde aux besoins.

2. Un **cadre de modélisation** facilitant l'interopérabilité des modèles avec les systèmes d'informations externes et les systèmes de l'entreprise. Les principaux apports scientifiques de ce cadre sont :
   - de proposer non seulement un **modèle de données générique**, mais également un modèle de **processus** et une **carte de besoins**.
   - de garder les liens entre ces différents composants. En effet les **liens entre les besoins et les processus** et les **liens entre les processus et les objets d'entreprise** sont présents. Cela permet par exemple de ne choisir qu'un petit nombre de besoins et d'obtenir ainsi une proposition des processus minimum à mettre en place, et le modèle de données correspondant, sans l'alourdir d'objets inutiles pour cette entreprise.
   - de proposer **plusieurs niveaux de généricité: générique, partiel et particulier.** Ces niveaux permettant une meilleure spécialisation des objets en fonction de l'entreprise, tout en gardant une facilité d'interopérabilité au niveau générique.

À un niveau particulier du domaine des PME mécaniciennes, nous obtenons comme résultats:

1. Une **typologie** orientée PLM des PME mécaniciennes. Cette typologie prend comme axe de différentiation le nombre de composants par produit et propose trois types d'entreprises.
2. Une **carte des besoins** PLM des PME mécaniciennes qui prend en compte les différents types d'entreprises. Elle comprend sept catégories de besoins prenant en compte le type de l'entreprise.
3. Un **modèle générique** permettant de faciliter l'implémentation des systèmes PLM tout en augmentant leur interopérabilité. Ce modèle se spécialise pour obtenir un modèle correspondant au domaine de l'entreprise ou à l'entreprise spécifique.
4. Un **démonstrateur PLM** implémentant notre cadre méthodologique et répondant aux besoins industriels identifiés précédemment.

L'apport principal de ces travaux se focalise sur la modélisation d'entreprise et le PLM. Dans une moindre mesure, nous contribuons à l'intégration des systèmes à base de connaissances et l'interopérabilité des SI.

Ces travaux ouvrent des perspectives industrielles et scientifiques qui peuvent donner lieu à de futurs travaux de recherche et à l'industrialisation d'un logiciel PLM basé sur le démonstrateur.

Le démonstrateur a permis de valider l'ensemble des avancées proposées. Cependant il sera nécessaire d'utiliser le démonstrateur à une échelle industrielle avant d'en faire un logiciel robuste.

Le niveau générique du modèle est bien défini, mais il reste à définir les niveaux partiels, ce qui représente une tâche importante pour définir l'ensemble des sous-classes nécessaires à chaque métier de la mécanique.

L'intégration d'informations de gestion industrielle, tels les stocks, les ordres de fabrication… permettrait d'avoir un véritable hub d'entreprise consolidant les informations. Un système ERP utilisant ces informations comme une application métier redeviendrait un système d'aide à la gestion de production et non une base de données comme elle l'est devenue aujourd'hui.

Enfin, ce cadre de modélisation peut s'appliquer à de nombreux domaines où la notion de PLM est moins répandue que dans l'industrie mécanique, comme par exemple le domaine du Bâtiments et Travaux Publics ou le secteur hospitalier. Son application permettrait de définir les modèles génériques à mettre en œuvre dans les systèmes d'information de ces domaines.

Bibliographie

Bibliographie

Valorisation des travaux de thèse

Publications dans des revues d'audience internationale à comité de lecture

[LED 09g] **Le Duigou, J.**, Bernard, A., Perry, N., Delplace, J.C., 2009, *Global approach for product data management, application to ship equipment part families*, CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, vol. 1, pp. 185-190.

[LED 10] **Le Duigou, J.**, Bernard, A., Perry, N., Delplace, J.C., 2010, *Generic PLM system for SMEs: Application to an equipment manufacturer*, Int. J. Product Lifecycle Management, en cour de review.

Communications à des congrès internationaux à comité de sélection et actes publiés

[LED 08a] **Le Duigou, J.**, Bernard, A., Delplace, J.C., Gabriel, S., 2008, *Approche globale pour la structuration et la gestion des données techniques du cycle de vie produit ; Application à une famille de poulies d'accastillage.* 7ème conférence internationale de modélisation et simulation, 31 mars-02 avril 2008, Paris, France.

[LED 08b] **Le Duigou, J.**, Bernard, A., Delplace, J.C., Gabriel, S., 2008, *Global Approach for Technical Data Management; Application to Ship Equipment Part Families.* Cirp Design Conference 2008, 07-09 avril 2008, Enschede, Pays-Bas.

[LED 08e] **Le Duigou, J.**, Bernard, A., Perry, N., Delplace, J.C., 2008, *Inductive approach for the specification of a generic PLM system in an extended enterprise context.* 5th international conference on Digital Enterprise Technology, 22-24 Octobre 2008, Nantes, France.

[LED 09b] **Le Duigou, J.**, Bernard, A., Perry, N., Delplace, J.C., 2009, A *constraints driven Product Lifecycle Management framework.* CIRP Design Conference 2009, 30-31 mars 2009, Cranfield, UK.

[LED 09c] **Le Duigou, J.**, Bernard, A., Perry, N., Delplace, J.C., 2009, *Specification of a generic PLM system dedicated to SMEs based on a PPRO meta-model.* 16th CIRP international conference on Life Cycle Engineering, 04-06 mai 2009, Le Caire, Égypte.

[LED 09d] **Le Duigou, J.**, Bernard, A., Perry, N., Delplace, J.C., 2009, *Approche inductive pour la spécification d'un système PLM générique*. 8ème Congrès International de Génie Industriel, 10-12 juin 2009, Bagnères de Bigorre, France.

[LED 09e] **Le Duigou, J.**, Bernard, A., Perry, N., Delplace, J.C., 2009, *A function driven method for product lifecycle management*. 6th international conference on Product Lifecycle Management, 06-08 juillet 2009, Bath, UK.

Colloques sans actes ou avec actes à diffusion restreinte

[LED 08c] **Le Duigou, J.**, Bernard, A., Perry, N., Delplace, J.C., 2008, *Proposition pour structurer les données techniques. Application aux réseaux de PME de la mécanique*. Séminaire de l'école doctorale SPIGA, 27 mai 2008, Nantes, France.

[LED 08d] **Le Duigou, J.**, Bernard, A., Perry, N., Delplace, J.C., 2008, *Proposition pour structurer les données techniques. Application aux réseaux de PME de la mécanique*. Colloque de Recherche de l'Intergroupe des Écoles Centrales, 09-10 juin 2008, Nantes, France.

[LED 09a] **Le Duigou, J.**, Bernard, A., Perry, N., Delplace, J.C., 2009, *Approche inductive pour la spécification d'un système PLM générique*. 3ème journée nationale MACS, 17-18 mars 2009, Angers, France.

[DAA 09] Daaboul, J., Xu, Y., Vergara, V., **Le Duigou, J.**, Chevallereau, B., Rauffet, P., Laroche, F., Da Cunha, C., Bernard, A., 2009, *Amélioration de la performance industrielle par l'ingénierie numérique*. 11ème colloque national AIP Primeca, 22-24 avril 2009, La Plagne, France.

[LED 09f] **Le Duigou, J.**, Bernard, A., Perry, N., Delplace, J.C., 2009, *Système générique support aux processus d'entreprise étendue: application aux PME mécaniciennes*, 12ème journées STP du GDR MACS, 28-29 octobre 2009, Annecy, France.

Bibliographie externe

[AMM 08] Ammar-Khodja, S., Bernard, A., 2008, *An overview on knowledge management*, Methods and tools for effectives knowledge life cycle management, Springer-Verlag, pp. 3-21.

[ATH 04] Athena, 2004, *Enterprise modelling in the context of collaborative enterprises*, ATHENA Document deliverable D.A.1.1.1 project A1, EU IP – Project – No 507849.

[BAC 02] Bacha, R., 2002, *De la gestion des données techniques pour l'ingénierie de production. Référentiel du domaine et cadre méthodologique pour l'ingénierie des systèmes d'information techniques en entreprise*, Thèse de doctorat, École Centrale Paris.

[BAC 00] Bachimont, B., 2000, *L'archive numérique : entre authenticité et interopérabilité*, Archives, vol. 32, n° 1, pp. 3–15.

[BAL 06] Balocco R., Mainetti S., Rangone A., 2006. *Innovare e competere con le ICT - Il ruolo delle tecnologie dell'informazione e della comunicazione nella crescita delle PMI*, IlSole24ore, Milano.

[BER 96] Bernard, A., 1996, *Contribution à la modélisation des produits et à l'intégration des technologies productrices dans un environnement multi-acteurs*, Habilitation à Diriger des Recherche, École Centrale Paris.

[BER 04] Bernard, S., Cauvin, A., Véron, P., Noblet, L., 2004, *Spécification d'un environnement d'ingénierie collaborative multisite - nécessité d'une démarche globale*, Revue Française de Gestion Industrielle, vol. 23, n° 2, pp. 21-32.

[BIG 07] Bigand M., Bourey, J.P., Perry, N., Mauchand, M., 2007, *Case Studies in Model Integration*, International Journal of Computer Integrated Manufacturing, vol. 20, pp. 619-626.

[BLA 98] Blanco, E., 1998, *L'émergence du produit dans la conception distribuée. Vers de nouveaux modes de rationalisation dans la conception de systèmes mécaniques*, Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble.

[BRA 01] Braudel, H., Nicot, M., Dunyach, J.C., 2001, *Overall presentation of ENANCE Project, Production cost & time to market – Aircraft Technologies*, Air & Space Europe, vol.3, n° 3-4, pp. 49-52.

[BRO 99] Browne J., Zhang J., 1999, *Extended and virtual enterprises - similarities and differences*, International Journal of Agile Management Systems, vol. 1, pp. 30-36.

[BUC 94] Bucciarelli, L.L., 1994, *Designing engineers*, MIT Press.

[CHA 99] Chambolle, S., 1999, *Un modèle produit piloté par les processus d'élaboration : Application au secteur automobile dans l'environnement STEP*, Thèse de Doctorat, École Centrale Paris.

[CET 07a] Cetim, 2007, *Enquête de besoin sur le travail collaboratif*, Document interne.

[CET 07b] Cetim, 2007, *Étude sur les besoins en PLM*, Document interne.

[CHE 97] Chen, D., Vallespir, B., Doumeingts, G., 1997, *GRAI integrated methodology and its mapping onto generic enterprise reference architecture and methodology*, Computers in Industry vol. 33, pp. 387-394.

[CHE 03a] Chen, D., Doumeingts, G., 2003, *European initiatives to develop interoperability of enterprise applications – basic concepts, frameworks and roadmap*, annual reviews in control 27, pp 153-162.

[CHE 03b] Chen, D., Doumeingts, G., 2003, *Basic concepts and approaches to develop interoperability of enterprise applications.* Processes and Foundations for Virtual Organizations, Kluwer, edited by L. M. Camarinha-Matos and H. Afsarmanesh.

[CIM 03] CIMdata Inc., 2003, *Product Lifecycle Management "Empowering the future of business".*

[CIM 07] CIMdata Inc., 2007. *PLM Market Growth in 2007 - A First Look in 2008 – Exceeding Expectations*.

[DEC 98] Decreuse, C. et Feschotte, D., 1998. *Ingénierie Simultanée*. Techniques de l'ingénieur, référence A5310.

[DEL 04] Delplace, J.C., 2004, *L'Ingénierie numérique pour l'amélioration des processus décisionnels et opérationnels en fonderie*, Thèse de Doctorat, École Centrale de Nantes.

[DOU 98] Doumeingts, G., & al., 1998, *Decisional Modelling using the GRAI Grid*. Handbook on Architectures of Information System, Springer-Verlag., p313-338.

[DUT 05] Dutta, D., 2005, *Sustaining product innovation thru PLM*, International Seminar on Product Lifecycle Management, 18-19 mars 2005, Noida, India.

[DUP 91] Dupinet, E., 1991, *Contribution à l'étude d'un système informatique d'aide à la conception de produits mécaniques*, Thèse de doctorat, École Centrale Paris.

[ELK 02] El Khalkhali, I., Ghodous, P., Martinez, M., Fravel, J., 2002, *An information infrastructure to share product models using STEP standard*, 9th IPSE international conference on concurrent engineering: research and applications, Cranfield University, 27th-31st July 2002.

[ELK 09] El Kadiri, S., Pernelle, P., Delattre, M., Bouras, A., 2009. *Current situation of PLM systems in SME/SMI: Survey's results and analysis*. Proceedings of 6th International Conference on Product Lifecycle Management.

[EYN 04] Eynard, B., Gallet, T., Nowaka, P., Roucoules, L., 2004, *UML based specifications of PDM product structure and workflow*, Computers in Industry, vol. 55, pp. 301–316.

[EYN 05] Eynard, B., 2005, *Gestion du cycle de vie des produits et dynamiques des connaissances industrielles en conception intégrée*, Habilitation à Diriger des Recherches, Université de Technologie de Compiègne.

[ERM 00] Ermine, J. L., 2000, *La gestion des connaissances, un levier stratégique pour les entreprises*, Actes IC2000, Ingénierie des connaissances, Toulouse, 10-12 mai 2000.

[ETT 92] Ettighoffer D., 1992, *L'entreprise virtuelle ou les nouveaux modes de travail*, Odile Jacob.

[EUL 08] Euler Chelpin, von A., 2008, *Information modelling for the manufacturing system life cycle*, Thèse de Doctorat, Université de Stockholm.

[GAR 99] Gardoni, 1999, *Maîtrise de l'information non structurée et capitalisation de savoir et savoir-faire en Ingénierie Intégrée. Cas d'étude Aérospatiale*, Thèse de Doctorat, Université de Metz.

[GER 90] Gero, J.S., 1990, *Design Prototypes: A Knowledge Representation Schema for Design*, AI Magazine, vol. 11, n° 4, pp. 26-36.

[GER 99] GERAM, 1999, *GERAM: Generalised Enterprise Reference Architecture and Methodology v1.6.3*, IFIP–IFAC Task Force on Architectures for Enterprise Integration.

[GRU 95] Gruninger, M., Fox, M.S., 1995, *Methodology for the design and evaluation of ontologies*, in Proceedings of the Workshop on Basic Ontological Issues on Knowledge Sharing, IJCAI'95.

[GZA 00] Gzara, L., 2000, *Les patterns pour l'ingénierie des systèmes d'information produit*, Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble.

[HAR 96] Harutunian, V., Nordlund, M., Tate, D., Suh, N.P., 1996, *Decision Making and Software Tools for Product Development Based on Axiomatic Design Theory*, CIRP Annals – Manufacturing Technology, vol. 45, n° 1, pp. 135-139.

[INT 04] Interop, 2004, *Knowledge map of research in interoperability in the INTEROP NoE*, Delivrable D1.1, EU-NoE Project IST – 508011.

[IDE 93] IDEF, 1993, *Draft Federal Information Processing Standards Publication 183, Announcing the Standard for Integration Definition for Function Modeling (IDEF0)*, http://www.idef.com, consulté le 17/11/2009.

[ISO 94a] ISO 10303-1, 1994, *Industrial Automation Systems and Integration - Product Data Representation and Exchange - Part 1: Overview and Fundamental Principles.* ISO - International Organization for Standardization.

[ISO 94b] ISO 10303-11, 1994, *Industrial Automation Systems and Integration - Product Data Representation and Exchange - Part 11: Description Methods: The EXPRESS Language Reference Manual.* ISO - International Organization for Standardization.

[ISO 98] ISO 10303-214, 1998, *Industrial Automation Systems and Integration - Product Data Representation and Exchange - Part 214: Application Protocol: Core Data for Automotive Mechanical Design Processes.* ISO - International Organization for Standardization.

[ISO 05] ISO 10303-239, 2005, *Industrial Automation Systems and Integration - Product Data Representation and Exchange - Part 239: Application Protocol: Product Life Cycle Support.* ISO - International Organization for Standardization.

[JUL 94] Julien P.-A., 1994, *Les PME : bilan et perspectives*, Economica, 352 p.

[KEM 99] Kemp, J.L.C., 1999, *Fractal organising of knowledge intensive organisations*.

[KER 07] Keraron, Y., 2007, *Couplages entre le système documentaire et les systèmes technique et humain : Les mutations numériques*, Thèse de Doctorat, École Centrale de Nantes.

[KOS 99] Kosanke, K., Zelm, M., 1999, *CIMOSA modelling processes*, Computer in Industry, vol. 40, pp. 141-153.

[KRA 93] Krause F.L., Kimura F., et al., 1993, *Product Modeling*, Annals of the CIRP, vol. 42, n° 2, pp. 695-706.

[KRA 06] Kraaijenbrink J., Faran D., Hauptman A., 2006, *Knowledge integration by SMEs — Framework*, Knowledge Integration, Ed. Jetter E. et al., Physica-Verlag HD, pp. 17–28.

[KRI 09] Krima, S., Barbau, R., Fiorentini, R., Sudarsan, R., Foufou, S., Sriram, R.D., 2009, *OntoSTEP: OWL-DL ontology for STEP*. Proceedings of 6th International Conference on Product Lifecycle Management.

[LAB 04] Labrousse, M., 2004, *Proposition d'un Modèle Conceptuel Unifie pour la Gestion Dynamique des Connaissances d'entreprise*, Thèse de Doctorat, École Centrale de Nantes.

[LEM 77] Le Moigne, J.L., 1977, *La théorie du système général – Théorie de la modélisation*, Presses Universitaires de France, Paris.

[LOM 06] Lombard, M., 2006, *Contribution de la Modélisation Informationnelle aux Processus de Conception et Réalisation de Produits Manufacturiers : vers une Ontologie Métier*, Habilitation à Diriger des Recherches, Université de Nancy I.

[MAT 99] Matta N., Corby O., Ribiere M., 1999, *Méthodes de capitalisation de mémoire de projet,* Rapport de recherche Interaction : Homme Machine, Images, Données et Connaissances, N° 3819 INRIA.

[MAR 06] Martin, L., Moraru, G., Véron, P.,2006, *Development of an integrated tool for the foundry industry*, 6th International Conference on Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering (IDMME), Grenoble, France, 17-19 mai 2006.

[MER 98] Mer, S., 1998, *Les mondes et les outils de la conception. Pour une approche socio-technique de la conception produit*, Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble.

[MER 03] Merlo, C., 2003, *Modélisation des Connaissances en Conduite de l'Ingénierie : Mise en Œuvre d'un Environnement d'Assistance aux Acteurs*, Thèse de Doctorat, Université de Bordeaux I.

[MER 05] Merlo, C., Eynard, B., Girard, P., Odinot, A., Gallet, T., 2005, *Compared implementations of PDM systems based on UML specifications,* Int. J. Product Lifecycle Management, vol. 1, n° 1, pp. 52-69.

[MIL 07] Milton, N.R., 2007, *Knowledge Acquisition in Practice: a step by step guide*, Ed. Springer London.

[MML 00] MML Working Group, 2000, *Methodology and tools Oriented to Knowledge-based engineering Applications, MOKA User Guide (MOKA Modeling Language Core Definition),* MOKA project – ESPRIT 25418, Deliverable D1.3.

[MON 92] Mony, C., Dupinet, E., Bernard, A., 1992, *A mechanical product integrated model for machining and manufacture of raw parts*, Proceedings of the CIRP Seminar: Manufacturing Systems, vol. 21, n° 2, pp 137-145.

[MOR 77] Morin, E., 1977, *La méthode,* Ed. du Seuil.

[NGU 06] Nguyen Van, T., 2006, *System engineering for collaborative data management systems: Application to design/simulation loops*, Thèse de Doctorat, École Centrale Paris.

[NOE 06] Noël, F., 2006, *A dynamic multi-view product model to share product behaviors among designers: how process model adds semantic to the behavior paradigm*, Int. J. Product Life Management, vol. 1, n° 4, pp. 380-390

[NOR 03] Noran, O., 2003, *An analysis of the Zachman framework for enterprise architecture from the GERAM perspective*, Annual Reviews in Control, n° 27, pp. 163–183.

[NOY 00] Noy, N., Fergerson, R.W., Musen, M.A., 2000, *The knowledge model of Protégé2000: combining interoperability and flexibility*, in Proceedings of the International Conference on Knowledge Engineering and Knowledge Management (EKAW'00).

[NYQ 08] Nyqvist, O., 2008, *Information management for cutting tools, information models and ontologies*, Thèse de Doctorat, KTH Stockholm.

[OMG 97] Object Management Group, 1997, The Unified Modeling Language, Release 1.1, Reference Manual, http://www.omg.org/, consulté le 17/11/2009.

[OWL 09] OWL Home Page, *http://www.w3.org/TR/owl2-overview/* , consulté le 17/11/2009.

[PAN 06] Panetto, H., 2006, *Meta-modèles et modèles pour l'intégration et l'interopérabilité des applications d'entreprises de production*, Habilitation à Diriger des Recherches, Université de Nancy I.

[PDM 01] PDM Schema, 2001, *PDM Schema v1.2*: http://www.pdm-if.org/pdm_schema/index.html consulté le 17/11/2009.

[PRA 05] Pratt, M.J., 2005, *ISO 10303, the STEP standard for product data exchange, and its PLM capabilities*, Int. J. Product Lifecycle Management, vol. 1, n° 1, pp. 86-94.

[ROU 07] Roucoules, L., 2007, *Contribution à l'intégration des activités collaboratives et métier en conception de produit. Une approche au juste besoin : des spécifications fonctionnelles du produit aux choix des procédés de fabrication*, Habilitation à Diriger des Recherches, Université de Technologie de Compiègne.

[SAL 95] Salau, I., 1995, *La Conception Distribuée : Théorie et Méthodologie.* Thèse de Doctorat, Université de Nancy I.

[SCH 98] Scheer, A.W., 1998, *ARIS*. Handbook on Architectures of Information Systems, Springer-Verlag., p541-566.

[SCH 99] Schreiber, G. & al., 1999, *Knowledge Engineering and Management – The CommonKADS Methodology*, The MIT Press.

[SEI 08] SEINE, 2008, *Livrables publics* : http://www.seine-plm.org/, consulté le 17/11/2009.

[SIM 97] Simon, G., 1997, *Modèles et méthodes pour la conception des mémoires d'entreprise. Le système DOLMEN : une application en métallurgie*. Thèse de Doctorat, Université de Nancy I.

[SUD 05] Sudarsan, R., Fenves, S.J., Sriram, R.D., Wang, F., 2005, *A product information modelling framework for product lifecycle management*. Computer-Aided Design, Vol. 37, pp. 1399-1411.

[SUH 90] Suh, N.P., 1990, *The Principle of Design*, Oxford University Press.

[SUH 00] Suh, N.P., Do, S.H., 2000, *Axiomatic Design of Software Systems*, CIRP Annals - Manufacturing Technology, vol. 49, n° 1, pp. 95-100.

[TER 05] Terzi, S., 2005, *Element of Product Lifecycle Management: Definitions, Open Issues and Reference Models*, Thèse de Doctorat, Université de Nancy I.

[TER 09] Terzi, S., Garetti, M., 2009, *Implementing PLM projects: evidences from practice,*. Proceedings of 6th International Conference on Product Lifecycle Management.

[TIC 96] Tichkiewitch S., 1996, *Specification on integrated design methodology using a multi-view product model*, ESDA Proceedings of the 1996 ASME System Design and Analysis Conference, vol. 80, pp. 101-108.

[VER 96] Vernadat, F.B., 1996, *Enterprise modelling and integration: principles and applications*, Chapman & Hall.

[VIV 07] VIVACE, 2007, *final technical achievements*: http://www.vivaceproject.com/technical_leaflet_final.pdf, consulté le 17/11/2009.

[WAL 90] Waldner, J.B., 1990, *CIM, les nouvelles perspectives de la production*, Dunod.

[WEG 97] Weggeman, M., 1997, *kennismanagement, inrichting es besturing vas kennisintensieve organisaties*, Scriptum.

[WIL 94] Williams, T.J., 1994, *The Purdue Enterprise Reference Architecture*, Computers in Industry, vol. 24, pp. 141–158.

[WIL 97] Williams, T.J., Li, H., 1997, *The task force specifications for GERAM and its fulfilment by PERA*, Annual Review in Control, vol. 21, pp. 137-147.

[WHI 04] White, S.A., 2004, *Introduction to BPMN*: http://www.bpmn.org/, consulté le 17/11/2009.

[XML 02] XML, 2002, eXtended Markup Language Specification, *http://www.w3.org/TR/REC-xml*, consulté le 17/11/2009.

[ZAC 87] Zachman, J.A., 1987, *A frameworks for information systems architecture.* IBM Systems Journal, vol. 26, n° 3, pp 276-292.

[ZWE 01] Zwegers, A., Hannus, M., Tølle, M., Gijsen, J., Berg, R.J., 2001, *An architectural framework for virtual enterprise engineering*, Novel solutions and practices for a global networked economy, pp. 1117-1123.

CADRE DE MODELISATION POUR LES SYSTEMES PLM EN ENTREPRISE ETENDUE APPLICATION AUX PME MECANICIENNES

Résumé

Ce travail s'intéresse à la gestion d'informations techniques sur l'ensemble du cycle de vie du produit et à travers l'ensemble de l'entreprise étendue.
Il a pour champ d'application le domaine des systèmes d'informations supports au PLM dans les PME mécaniciennes.
L'objectif est de faciliter la mise en œuvre de système PLM par l'apport d'une part d'une méthode de modélisation et d'autre part d'un cadre de modélisation.
Pour ce faire, nous avons mis en place une méthode inductive de modélisation d'entreprise basée sur les besoins. Cette méthode prend en compte les besoins de l'entreprise, les processus à mettre en œuvre pour réaliser ces besoins et le modèle de données à implémenter. Elle a été utilisée dans trois entreprises pilotes correspondant à trois domaines distincts de l'industrie mécanique chez les PME.
Un cadre de modélisation a été conçu pour faciliter la mise en œuvre de cette méthode. Il inclut une carte des besoins PLM, un modèle de processus de développement produit et un modèle de données générique. Chacun de ces livrables a trois niveaux de généricité distincts : un niveau générique, englobant tous les objets d'entreprise, un niveau partiel, regroupant les objets d'un domaine d'activité donné, et le niveau particulier, contenant les objets spécifiques à une entreprise particulière.
L'apport principal de cette étude réside dans l'aspect inductif de la méthode de modélisation qui permet d'expliciter les besoins implicites, et le cadre de modélisation proposant une spécialisation poussée du modèle de données, tout en en garantissant l'interopérabilité.
L'application de cette méthodologie au travers d'un système d'informations supportant notre approche a été testée dans différents cas d'études.

Mots-clés : Product Lifecycle Management (PLM), Méthode de Modélisation, Modélisation d'Entreprise, Modélisation Produit-Process, Cadre de modélisation, PME, Système d'Informations, UML.

FRAMEWORK FOR PLM SYSTEMS IN EXTENDED ENTERPRISE APPLICATION ON MECHANICAL SMES

Abstract

In this thesis, we are interested in engineering information management on the whole product lifecycle and through the extended enterprise.
The application area is the implementation of information system support to PLM in mechanical SME.
The goal is the improvement the PLM implementation by two contributions, on one hand a modeling method and on the other hand a meta-model.
With this intention we propose an inductive enterprise modeling method based on the needs. This method takes into account the enterprise needs, the process to realize those needs and the data model to be implemented. It was used into tree different early adopters SME from three distinct domains of mechanical industry.
A framework has been designed to make easier the implementation of this method. It includes a map of needs, a product development process model and a data generic model. Each of these deliverables get three levels of genericity: a generic level, encompassing all the enterprise objects, a partial level, containing the objects of one activity domain, and the particular level, containing the objects of one specific enterprise.
The main innovation of this study is the inductive aspect of the modeling method that allows to explicit implicit needs, and the specialization of the generic model that proposes an enterprise specific model with the guarantee of interoperability.
The application of this methodology through an information system that supports our approach has been tested on different use cases.

Keywords: Product Lifecycle Management (PLM), Modeling Method, Enterprise Modeling, Product-Process Modeling, Framework, SME, Information System, UML.

Discipline : Sciences Pour l'Ingénieur