



**HAL**  
open science

# Du déploiement d'un système PLM vers une intégration des connaissances

Aurélie Bissay

► **To cite this version:**

Aurélie Bissay. Du déploiement d'un système PLM vers une intégration des connaissances. Autre [cs.OH]. Université Lumière - Lyon II, 2010. Français. NNT : 2010LYO20003 . tel-02309496

**HAL Id: tel-02309496**

**<https://theses.hal.science/tel-02309496>**

Submitted on 9 Oct 2019

**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.

Université Lumière Lyon 2

Informatique et mathématiques

**Du déploiement d'un système PLM  
vers une intégration des  
connaissances :**

Aurélie BISSAY

Thèse de doctorat en Informatique

Sous la direction de Abdelaziz BOURAS

Présentée et soutenue publiquement le 12 janvier 2010

Composition du jury :

Abdelaziz BOURAS, Professeur des universités, Université Lumière Lyon 2

Michel TOLLEANERE, Professeur des universités, Inst. Nat.Polytech. de Grenoble

Samuel GOMES, Professeur des universités, Université Technologique Belfort Montbéliard

Emmanuel CAILLEAUD, Professeur des universités Université Strasbourg 1

Philippe GIRARD, Professeur des universités, Université Bordeaux 1

Arnaud LEFEBVRE, Maître de conférences, Université Lyon1

Philippe PERNELLE, Maître de conférences, Université Lyon1

# Contrat de diffusion

Ce document est diffusé sous le contrat *Creative Commons* « [Paternité – pas d'utilisation commerciale - pas de modification](#) » : vous êtes libre de le reproduire, de le distribuer et de le communiquer au public à condition d'en mentionner le nom de l'auteur et de ne pas le modifier, le transformer, l'adapter ni l'utiliser à des fins commerciales.

# Du déploiement d'un système PLM vers une intégration des connaissances

## THÈSE

présentée et soutenue publiquement le 12/01/2010

pour l'obtention du

**Doctorat de l'université Lyon 2**  
(spécialité génie informatique)

par

Aurélie BISSAY

### Composition du jury

<i>Président :</i>	***	
<i>Rapporteurs :</i>	Michel TOLLENAERE Samuel GOMES	INP de Grenoble Université de Technologie de Belfort-Montbéliard
<i>Examineurs :</i>	Emmanuel CAILLAUD Philippe GIRARD	Université de Strasbourg Université de Bordeaux I
<i>Directeur de thèse :</i>	Abdelaziz BOURAS	Université Lyon 2
<i>Co-encadrants :</i>	Arnaud LEFEBVRE Philippe PERNELLE	Université Lyon 1 Université Lyon 1

Mis en page avec la classe thloria.

## Remerciements

Même si un doctorat est une sorte d'égoïsme, demandant silence et solitude, je souhaite ici rendre hommage et exprimer ma profonde gratitude à tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à sa réalisation et à son aboutissement.

Les travaux présentés dans cette thèse ont fait l'objet d'une convention CIFRE entre la société Marmillon SA et le Laboratoire d'Informatique pour l'Entreprise et les Systèmes de Production (LIESP).

En premier lieu, j'aimerais remercier vivement, mon directeur de thèse, Monsieur Abdelaziz Bouras, de l'attention et du soutien qu'il a porté à mon travail de doctorante.

Je remercie tout particulièrement Arnaud Lefebvre et Philippe Pernelle, Maîtres de conférences à l'Université Claude Bernard Lyon 1, d'avoir codirigés cette thèse. Tout au long de ce travail, ils ont su m'apporter un soutien constant, une disponibilité, une écoute, une confiance. Leurs connaissances, leurs critiques, et leurs conseils constructifs m'ont permis de mener à bien ce travail.

Je tiens à remercier particulièrement M. Jean-Pierre Marmillon sans qui cette thèse CIFRE n'aurait sûrement jamais vu le jour.

J'adresse également mes remerciements au directeur informatique de la société Marmillon, M. Sylvain Bravo, ainsi qu'aux responsables du bureau d'études qui se sont succédés au cours de cette thèse à savoir M. Christian Durrafourg et M. Fabien Caselles. Je tiens à les remercier d'avoir accepté de soutenir cette recherche durant ces trois années.

Je tiens également à avoir une pensée sympathique pour toutes les personnes de la société Marmillon et du laboratoire LIESP, qui savent si bien rendre agréable le cadre de travail et plus particulièrement à Soumaya, Philippe, Céline, Frédéric.

Je tiens également à témoigner toute ma reconnaissance aux Professeurs Samuel Gomes de l'université de Belfort-Montbéliard et Michel Tollenaere de l'INP de Grenoble pour l'honneur qu'ils m'ont fait en acceptant d'être rapporteurs de ce travail de recherche et membres du jury.

J'associe à ces remerciements les autres membres du jury, Messieurs Philippe Girard (Professeur des universités à l'université de Bordeaux I), et Emmanuel Caillaud (Professeur des universités à l'université de Strasbourg) qui ont également accepté d'associer leurs expertises respectives à l'évaluation de cette thèse.

Je termine par une profonde pensée à mes parents, ma famille et mes amis pour leur soutien sans faille durant ces trois ans. Enfin, je remercie de tout cœur Cyril d'avoir été là.



# Table des matières

<b>Table des figures</b>	<b>vii</b>
<b>Introduction générale</b>	<b>1</b>
<b>Problématique de la thèse</b>	<b>5</b>

---

---

## **Partie I Les systèmes d'information centrés sur les produits et sur la capitalisation du savoir-faire industriel**

---

---

<b>Introduction</b>	<b>15</b>
<b>Chapitre 1 Les systèmes d'information centrés sur les produits industriels</b>	<b>17</b>
1.1 Introduction . . . . .	17
1.2 Contexte de l'environnement des entreprises industrielles . . . . .	18
1.2.1 Évolution de la production industrielle . . . . .	18
1.2.2 Évolution des méthodes d'ingénierie . . . . .	18
1.2.3 Évolution du système d'information des entreprises . . . . .	19
1.3 Caractéristiques des systèmes d'informations centrés sur les produits . . . . .	21
1.3.1 Introduction au Système d'Information Produit . . . . .	21
1.3.2 Cycle de vie du produit . . . . .	22
1.3.3 Composantes du SIP . . . . .	23

Table des matières

1.4	Approches existantes sur la modélisation Produit - Processus - Organisation	26
1.4.1	Les modèles spécifiques . . . . .	26
1.4.2	Les modèles intégrés . . . . .	27
1.5	Les systèmes informatiques de type SIP . . . . .	28
1.6	Conclusion . . . . .	30
<b>Chapitre 2 La modélisation des processus métiers</b>		<b>31</b>
2.1	Introduction . . . . .	31
2.2	La vision processus dans le management des organisations . . . . .	32
2.2.1	Les processus dans l'organisation de la production . . . . .	32
2.2.2	Les processus dans le management de l'entreprise : vers la qualité totale	32
2.2.3	BPM/BPR . . . . .	33
2.2.4	Les normes ISO 9000 : 2000 et l'approche processus . . . . .	33
2.3	Les processus métiers . . . . .	34
2.3.1	La définition d'un processus . . . . .	34
2.3.2	Classification des processus . . . . .	35
2.4	La modélisation des processus . . . . .	37
2.4.1	Objectif de la modélisation . . . . .	37
2.4.2	Conception et exécution des processus . . . . .	38
2.4.3	Les langages de modélisation . . . . .	38
2.5	L'évaluation des processus . . . . .	47
2.5.1	Pilotage par les indicateurs de performance . . . . .	47
2.5.2	Typologie des indicateurs de performance . . . . .	48
2.6	Conclusion . . . . .	49
<b>Chapitre 3 Formalisation des connaissances métiers</b>		<b>51</b>
3.1	Introduction . . . . .	51
3.2	Les concepts de la gestion des connaissances . . . . .	52
3.2.1	Définition de la connaissance . . . . .	52
3.2.2	Typologie des connaissances . . . . .	53
3.2.3	Modèle de transfert des connaissances . . . . .	54

3.2.4	Cycle de capitalisation des connaissances . . . . .	55
3.2.5	Les mémoires d'entreprise . . . . .	56
3.3	Méthodologie de capitalisation des connaissances . . . . .	57
3.3.1	La méthode KOD . . . . .	57
3.3.2	La méthode Common KADS . . . . .	58
3.3.3	La méthode MKSM . . . . .	60
3.4	Quelques formalismes de représentation des connaissances . . . . .	62
3.4.1	La logique des prédicats . . . . .	62
3.4.2	Les réseaux sémantiques et les graphes conceptuels . . . . .	63
3.4.3	Les ontologies . . . . .	63
3.5	Les systèmes basés sur la connaissance . . . . .	65
3.5.1	CharGer . . . . .	65
3.5.2	Cogitant . . . . .	66
3.6	L'évaluation de la robustesse des connaissances . . . . .	67
3.7	Conclusion . . . . .	68

---



---

## Partie II Approche globale d'implémentation d'un projet PLM

---



---

<b>Introduction</b>	<b>73</b>
---------------------	-----------

<b>Chapitre 4 MPPI : Une méthode globale d'implémentation d'un système PLM dans une PME/PMI</b>	<b>75</b>
---	-----------

4.1	Introduction . . . . .	75
4.2	Les projets SI de type PLM . . . . .	76
4.2.1	Un projet global . . . . .	76
4.2.2	Les coûts d'un projet . . . . .	76
4.2.3	Les étapes d'un projet PLM . . . . .	77
4.3	méthodologie MPPI . . . . .	77

Table des matières

4.3.1	Approche globale . . . . .	77
4.3.2	Processus d'avant-projet . . . . .	79
4.3.3	Processus de déploiement . . . . .	80
4.3.4	L'accompagnement et l'adaptation . . . . .	82
4.4	Conclusion et discussion . . . . .	83
<b>Chapitre 5 MPPI-KI : Modélisation connaissance/information</b>		<b>85</b>
5.1	Introduction . . . . .	85
5.2	Modèle d'intégration des connaissances . . . . .	86
5.2.1	Démarche globale . . . . .	86
5.2.2	Rôles associés à cette approche . . . . .	87
5.2.3	Niveau information . . . . .	88
5.2.4	Niveau connaissance . . . . .	93
5.3	Modèle pour l'évaluation du système d'information produit . . . . .	97
5.3.1	Niveaux d'analyse . . . . .	97
5.3.2	Proposition d'indicateurs . . . . .	100
5.4	Conclusion et discussion . . . . .	104
<b>Chapitre 6 Expérimentation et validation industrielles</b>		<b>107</b>
6.1	Introduction . . . . .	107
6.2	Cas industriel de capitalisation . . . . .	107
6.2.1	Premier niveau d'analyse . . . . .	108
6.2.2	Deuxième niveau d'analyse . . . . .	112
6.3	Conclusion et discussion . . . . .	120
<b>Conclusion et Perspectives</b>		<b>121</b>
<b>Bibliographie</b>		<b>125</b>

# Table des figures

1	Les limites des systèmes PLM . . . . .	6
2	Problématique générale de la thèse . . . . .	8
3	Plan de lecture de la thèse . . . . .	11
1.1	Chaîne de valeur des produits numériques . . . . .	21
1.2	Cycle de vie du produit et activités associées [Cha05] . . . . .	23
2.1	Exemple de séquence de processus et de ses interactions [ISO08] . . . . .	36
2.2	Exemple d'actigramme SADT . . . . .	39
2.3	Actigramme et Datagramme du formalisme SADT . . . . .	40
2.4	Exemple de schéma de processus avec IDEF3 . . . . .	41
2.5	Exemple de schéma de transition IDEF3 . . . . .	41
2.6	Exemple de schéma étendu de transition IDEF3 . . . . .	42
2.7	Types d'activités . . . . .	44
2.8	Diagrammes d'évènements . . . . .	45
2.9	Processus de validation d'une commande . . . . .	46
3.1	Le cycle donnée - information - connaissance . . . . .	53
3.2	Tableau comparatif connaissance tacite / connaissance explicite . . . . .	53
3.3	Modèle de transfert des connaissances . . . . .	54
3.4	Modèle de Grundstein : cycle de capitalisation des connaissances dans l'entreprise . . . . .	55
3.5	Modèle Common KADS . . . . .	59
3.6	Le microscope de la connaissance [ECB <sup>+</sup> 96] . . . . .	60
4.1	Principe de la méthode MPPI . . . . .	77
4.2	Diagramme BPMN du processus d'avant projet . . . . .	78
4.3	Diagramme BPMN du processus de déploiement . . . . .	81
4.4	Phase de gestion du changement [deb04] . . . . .	82
5.1	Démarche globale d'intégration des connaissances . . . . .	86
5.2	Démarche d'intégration des processus . . . . .	88
5.3	Exemple de processus métier formalisé en BPMN . . . . .	89
5.4	Exemple de droits sur la classe Projet et le rôle Chef de projet . . . . .	91
5.5	Exemple d'objets/entités instanciés dans un système PLM . . . . .	92
5.6	Exemple de processus instancié dans un système PLM . . . . .	92
5.7	Démarche d'intégration des connaissances . . . . .	94
5.8	Exemple de processus de gestion des appels d'offre dans le secteur de la plasturgie . . . . .	95

## Table des figures

5.9	Modèle pour l'évaluation des niveaux d'analyse informations et connaissances . . . . .	99
6.1	Formalisation du processus d'appel d'offre en BPMN . . . . .	108
6.2	Formalisation du processus de réalisation du devis en BPMN . . . . .	109
6.3	Diagramme de classe du modèles de données . . . . .	110
6.4	Exemple d'espace d'états de la classe Affaire . . . . .	111
6.5	Calcul du temps d'injection . . . . .	113
6.6	Calcul du temps de refroidissement . . . . .	113
6.7	Concepts de la règle métier . . . . .	114
6.8	Formalisation de la règle métier sous forme de Graphes Conceptuels . . . . .	115
6.9	Adaptation du modèle de données . . . . .	116
6.10	Adaptation de la classe Pièce . . . . .	117
6.11	Fonctionnement de capitalisation dans le système . . . . .	117
6.12	Fonctionnement de l'utilisation des connaissances dans le système . . . . .	118
6.13	Classe Pièce adaptée à des fins d'évaluation . . . . .	119

# Introduction générale

## Contexte industriel des travaux de thèse

Le travail présenté dans cette thèse est issu d'une collaboration entre la société Marmillon et le Laboratoire d'Informatique pour l'Entreprise et les Systèmes de Production (LIESP) dans le cadre d'une convention CIFRE.

La société Marmillon S.A. est implantée dans la *Plastic Vallée* depuis 1927. Elle est spécialisée dans la transformation des technopolymères thermoplastiques. Ses activités concernent la conception et la fabrication de produits finis ou semi-finis par l'intermédiaire de deux procédés de transformation : l'injection et l'extrusion. Son activité est aujourd'hui principalement tournée vers le secteur automobile. L'entreprise se positionne en tant qu'équipementier de rang deux.

L'entreprise Marmillon intervient principalement sur des projets en tant que co-concepteur de produits. Ainsi, le bureau d'études travaille en collaboration avec le client pour concevoir le produit. Le statut de co-concepteur dégage la responsabilité Marmillon du concept retenu mais engage tout de même sa responsabilité quant à la faisabilité technique. Le bureau d'études de la société intervient comme support et apporte son expertise. Cette entreprise emploie 130 personnes réparties sur 2 sites de production en France et 130 personnes sur le site de Slovaquie.

Aujourd'hui, la société Marmillon, comme de nombreuses entreprises du secteur automobile, évolue dans un contexte économique extrêmement concurrentiel. Pour faire face à ces difficultés, elle doit se différencier et gagner en efficacité, notamment par une meilleure gestion des informations et des connaissances, afin d'améliorer sa productivité et de favoriser l'innovation. En effet, l'intensification de la concurrence impose aux entreprises un renouvellement rapide de leurs produits à des coûts toujours plus compétitifs. Pour cela, les industriels développent des produits de plus en plus performants avec des délais de plus en plus courts.

Marmillon, comme l'ensemble des entreprises, a comme objectif d'améliorer sa rentabilité. Ainsi, elles doivent s'imposer sur des marchés émergents en exposant leur capacité d'innovation. Cette capacité requiert la maîtrise de plusieurs dimensions : l'optimisation des organisations, le contrôle des procédés industriels, une meilleure gestion de leurs données et informations et le développement de la capitalisation des connaissances. Il ne s'agit donc pas aujourd'hui de simplement progresser, mais de développer une organisation "apprenante", dans laquelle chaque collaborateur, chaque équipe, et à terme, toute l'entreprise pourra optimiser leurs potentiels.

Dans ce contexte, le système d'information joue un rôle crucial puisqu'il doit permettre de favoriser l'innovation par la mise à disposition d'un large panel d'outils donnant aux acteurs les moyens de travailler toujours plus efficacement. Pour les entreprises industrielles, les systèmes d'information gérant le cycle de vie du produit ont cette vocation. Ils capitalisent le patrimoine technique et mettent à la disposition des acteurs la bonne information, au meilleur moment. Ainsi, le déploiement d'un tel système chez Marmillon a permis de poser diverses problématiques autour de la capitalisation dans le cadre des PME/PMI. Ce sont ces différentes problématiques qui seront abordées dans les sections suivantes.

## **Les besoins actuels des entreprises**

L'entreprise moderne se positionne dans un environnement économique où la quête de performance semble le principal atout de sa survie. Cette recherche de performance, longtemps cantonnée à l'optimisation de production, se décline par une recherche d'efficacité globale que nous déclinons sur plusieurs niveaux.

### **La recherche d'efficacité par la collaboration**

#### **La collaboration intra-entreprise**

La collaboration au sein de l'entreprise s'inscrit toujours dans cette logique de recherche d'efficacité. Sur les aspects de développement du produit, les approches concourantes supposent de réaliser certaines phases de manière parallèle dans l'objectif de réduire les coûts ou les délais. Pour cela, ces approches s'appuient sur la collaboration "maîtrisée" (et souvent outillée) des acteurs. Sur les aspects d'industrialisation, plus particulièrement pour les entreprises multi-sites, la nécessité de partager de l'information et de collaborer est d'autant plus importante que les sites peuvent être très éloignés.

#### **La collaboration inter-entreprises**

Depuis le début de l'ère industrielle, le modèle de l'entreprise verticalement intégrée, qui réalise en interne la totalité des étapes nécessaires à son activité (conception, production, distribution, etc.) et qui maîtrise donc la totalité de la chaîne de valeur, est largement dominant. Mais on assiste depuis plusieurs années à un phénomène de désintégration verticale ainsi qu'à un mouvement d'externalisation d'activités périphériques au cœur du métier.

Il est maintenant possible de concevoir une chaîne de valeur verticalement intégrée composée de multiples sociétés indépendantes mais liées par des objectifs et des valeurs partagées. Le concept "d'entreprise étendue" est une forme d'organisation englobant un ensemble d'entreprises qui travaillent pour des clients communs sous la conduite d'un décideur stratégique unique qui assure la cohérence de l'ensemble. Les intérêts de toutes ces entreprises sont donc étroitement liés : la performance vis-à-vis des clients en termes de coût, qualité, délai, innovation dépend de la performance de l'ensemble de la chaîne. Généralement, ce type d'organisation provient d'une décision d'externalisation, sur un mode coopératif, des parties du projet qu'elle n'a pas intérêt, ou la possibilité de réaliser elle-même.

Cette forme d'organisation se développe fortement suite à la mondialisation et au développement des technologies de l'information. Elle correspond bien à l'économie du savoir, qui demande la mise en commun de connaissances et compétences. Elle reflète aussi le besoin de faire fonctionner en commun des entités dont chacune est située dans le pays du monde le plus propice pour son type particulier d'activité.

Finalement, qu'elle soit inter-entreprises ou intra-entreprise, la collaboration et la gestion des informations sont des points fondamentaux des nouvelles organisations et des modes de fonctionnement que l'on voit apparaître aujourd'hui.

### **La recherche d'efficacité par l'optimisation des processus**

L'environnement industriel est caractérisé par des produits et des processus de plus en plus complexes. Cette complexité trouve son origine dans le fait que les variantes des produits existants sont de plus en plus nombreuses. Cette complexification des produits et des processus impose de parfaitement maîtriser l'information qui est manipulée tout au long du développement du produit. Par ailleurs, les efforts pour réduire le temps de développement et améliorer

la qualité des produits n'ont jamais été aussi nombreux. Ils conduisent les entreprises à mener des réflexions sur leurs processus métiers visant à les repenser et à les optimiser. La recherche d'efficacité au sein des entreprises passe également par une remise à plat de leurs processus avec la volonté de mettre en place une automatisation de ces mêmes processus.

## **La recherche d'efficacité par la gestion de l'information et des connaissances**

La gestion des connaissances s'inscrit dans une démarche de capitalisation du savoir faire des entreprises. Créer, capitaliser, et pérenniser son capital de connaissances est une préoccupation de toute entreprise performante dont l'activité innovante est souvent un processus incrémental. Dans ces démarches, les connaissances sont considérées comme des composantes qui mènent vers la prise de décision, l'action ou du moins l'attention des opérationnels ou des fonctionnels en entreprise. L'utilisation de la connaissance fait intervenir des données et des informations. Aujourd'hui, pour faire face à un marché de plus en plus concurrentiel, les entreprises s'appuient sur des méthodes et des outils de conception et de production basés sur les connaissances et sur les savoir-faire industriels individuels et collectifs. Ces outils doivent permettre de mieux capitaliser, échanger, et réutiliser les connaissances au sein de l'entreprise. L'un des aspects important sera la mise en place d'un système permettant de fournir à un individu la connaissance mais également les données et informations utiles au moment où il en a besoin, dans les meilleurs délais, et de façon exploitable. En pratique, cette approche doit aussi permettre de sauvegarder le patrimoine intellectuel de l'entreprise, encore appelé capital immatériel. De ce fait, une bonne gestion des connaissances nécessite en amont une bonne gestion des informations et de la traçabilité.

## **Éléments d'optimisation stratégiques autour du SI**

Dans la section précédente, nous avons abordé les points importants autour de la recherche d'efficacité. Ces différents points caractérisent le contexte industriel dans lequel se situe ces travaux de thèse. Plus globalement, ils définissent les éléments stratégiques auxquels doit répondre le système d'information. Pour cela, les systèmes d'information centrés sur la gestion du cycle de vie du produit correspondent aux critères d'amélioration recherchés par les industriels : optimisation des processus, gestion de l'information et de la connaissance, gestion de la collaboration, etc.

Apparus au milieu des années 1980, les Systèmes de Gestion de Données Techniques ont été développés pour éviter ces désagréments en gérant toutes les informations relatives aux produits et en les partageant entre différents services d'une société. Ils représentent le socle initial des systèmes d'information produit. Aujourd'hui, les développements, dans ce domaine, s'orientent vers les systèmes PLM "Product Lifecycle Management". Le PLM s'inscrit dans une approche collaborative de création, gestion, centralisation, dans un contexte d'entreprise étendue, de l'ensemble des flux d'informations concernant le développement d'un produit industriel. Ces systèmes ont pour vocation d'automatiser et de simplifier le processus de développement de nouveaux produits. Les systèmes PLM maximisent les efforts de développement de nouveaux produits et augmentent significativement la performance de l'entreprise. Ils relient les employés afin de leur permettre de collaborer et de centraliser le processus de développement de nouveaux produits. Ils organisent toute l'information relative à un produit autant du point de vue de la recherche et développement que du point de vue des réclamations clients, de l'historique des appels d'offres ou de tout autre information sur le produit existant dans l'entreprise.

Ces systèmes prennent en considération trois composantes :

- la composante "*Produit*" est le cœur des systèmes PLM et a pour vocation de gérer toutes

## Introduction générale

- les informations, données en lien avec le produit : articles, nomenclatures, fonctions, documents, modèles CAO et ce tout au long de son cycle de vie.
- *la composante "Processus"* vise à automatiser les processus par l'intermédiaire d'un moteur de workflow. Ce modèle de processus est piloté par les données produit et repose sur les concepts d'activités, d'objectifs, de ressources, d'états et de données techniques. Ces systèmes permettant d'orchestrer les processus peuvent donc être choisis par une entreprise qui s'est lancée dans une démarche de gestion de ses processus.
  - *La composante "Organisation"* est fortement présente dans ces systèmes puisqu'ils ont pour ambition de gérer les structures organisationnelles au travers des acteurs et des rôles. Cette gestion des ressources humaines alimente ainsi les processus et régule les accès aux différentes données par un système de droits.

La gestion dynamique de ces informations contribue à la structuration des activités concourantes aux différentes phases du cycle de vie et, par le suivi d'exécution des projets, instaure une collaboration effective des équipes. Une étude de CIMDATA [CIM09] sur les habitudes de travail des entreprises a mis en évidence que, en règle générale, près de 30% du temps est perdu à la recherche des données techniques éparpillées dans différents services.

# Problématique de la thèse

## Les limites de l'approche PLM

Dans la section précédente, nous avons explicité les besoins des entreprises industrielles en terme de système d'information, et plus particulièrement, l'intérêt des systèmes d'information centrés sur la gestion du cycle de vie des produits. Bien que les entreprises investissent dans la modernisation de leur SI<sup>1</sup> il subsiste de nombreux problèmes dans le déploiement, l'intégration et l'usage de ces systèmes.

## Le contexte des PME/PMI

Au-delà du défi des PME/PMI d'accroître le niveau de collaboration et de capitalisation autour d'un projet PLM entre ses différents métiers (études, production, méthodes, achats, finance, ventes...), plusieurs difficultés existent. Bien plus que les simples coûts direct d'un projet PLM, le fait de devoir compter sur un certain nombre de compétences internes (ou à défaut recourir à une prestation externe) pour piloter, implémenter et mener à bien le projet est un frein pour les petites structures.

Par ailleurs, il est souvent nécessaire de mettre en oeuvre une évolution organisationnelle et une remise à plat d'un certain nombre de méthodologies et de processus métiers de l'entreprise. "Mettre en oeuvre une solution PLM dans une PME/PMI nécessite de faire en sorte que chacun puisse obtenir la vue métier qui l'intéresse, comme le fait de pouvoir tester la robustesse d'une pièce pour un service de l'ingénierie, estimer son coût quand on fait partie du département achats ou encore de connaître le processus de développement à suivre pour fabriquer la pièce si on est un ouvrier"<sup>2</sup>. Ces évolutions ne sont pas toujours facile à mettre en oeuvre surtout dans un contexte PME/PMI.

## Problème d'interopérabilité

L'interopérabilité correspond à la capacité que possède un produit ou un système, dont les interfaces sont intégralement connues, à fonctionner avec d'autres produits ou systèmes existants ou futurs et ce sans restriction d'accès ou de mise en oeuvre. Le développement de propositions de systèmes pour l'échange d'informations, a conduit d'une part à une fragmentation de leur périmètre fonctionnel, et a contribué d'autre part à une confusion générale sur les conditions d'une intégration réussie et d'une utilisation pilotée et maîtrisée dans les organisations productives. Le manque d'interopérabilité est un problème crucial dans ces systèmes et les coûts de

---

1. Les premiers résultats d'une étude mondiale "Mainstream PLM" menée par le CIMdata, qui mesure la tendance sur les principales applications incluses dans le concept de PLM, le marché aurait progressé de 6% en 2008 [CIM09].

2. Jean Marc Deshays, vice-président chez Dassault Systèmes [Fil08]

gestion associés sont un frein au développement de solutions intégrées et pérennes. Cette situation est de plus en plus critique aujourd'hui, dans un cadre distribué et intégrant l'ensemble des informations du cycle de vie des produits.

## Problème de modélisation

La littérature distingue plusieurs types de modèles produit : structurel, géométrique, fonctionnel, par domaine ou métier [Ber00b], [RT00], [Den02]. Le modèle produit est la description des différentes facettes du produit à concevoir, à différents niveaux d'abstraction [Har97]. L'étude du modèle produit et des données qui le composent met en avant la nature très hétérogène de ces données et la diversité des applications qui les utilisent rend très difficile leur échange entre les différents systèmes. L'échange de données entre systèmes hétérogènes se heurte à différents problèmes [Mos07] :

- diversité de dénomination : les mêmes concepts peuvent avoir des dénominations différentes dans des bases de données diverses. Ainsi, dans chaque base de données, entités, tables et attributs sont identifiés par des noms. Des noms différents peuvent être utilisés pour identifier les mêmes concepts ou inversement.
- diversité de modélisation : dans le même domaine, la structure du modèle conceptuel peut changer. Un modèle peut ne pas représenter de spécialisation particulière par rapport aux concepts et aux noms existants dans l'autre système. Il peut au contraire avoir donné lieu à une spécialisation. De plus, si spécialisation il y a, les critères de spécialisation peuvent être différents d'une base à l'autre.
- représentation des données : en effet, plusieurs systèmes sont utilisés pour représenter les données d'un domaine particulier. Par exemple, dans le domaine de la CAO, il existe une multitude de formats pour représenter les données, résultant d'une multitude d'outils informatiques.

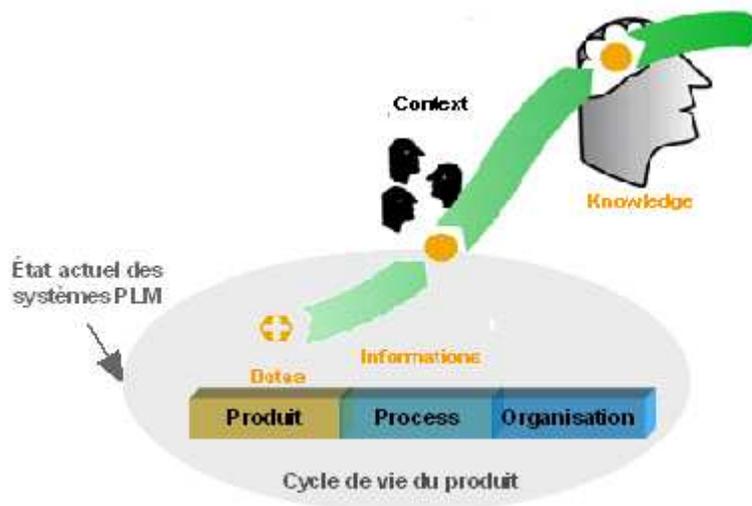


FIGURE 1 – Les limites des systèmes PLM

## Gestion uniquement des données et informations

Les systèmes actuels ne gèrent pas la connaissance en tant que telle (fig. 1). Leur première vocation vise à gérer essentiellement les données et informations techniques. La réutilisation des savoir-faire n'est pas suffisamment exploitée au sein de ces systèmes. Pour-

tant, tout objectif de réduction du cycle de développement par la réutilisation des connaissances suppose que le système d'information soit capable d'identifier les éléments de connaissance et soit capable de les évaluer.

## Problème de gestion du changement

Une entreprise est constamment confrontée à des changements, qu'ils soient technologiques ou organisationnels. En informatique, la mise en place de nouvelles applications, comme l'arrivée d'un ERP, d'un PLM, va bouleverser les habitudes de travail des salariés et souvent même changer les processus de l'entreprise. Ces changements seront plus ou moins bien acceptés par les individus. La principale cause d'échec de ces projets reste ainsi bien souvent le facteur humain. La raison n'est pas technique mais souvent organisationnelle, relationnelle, managériale et culturelle. Prendre en compte la dimension humaine devient donc essentiel. Dans un projet, quel qu'il soit, les deux principaux enjeux restent la qualité du projet et l'adhésion des hommes. La conduite du changement vise à favoriser cette adhésion et à aider la compréhension du projet par les managers et les utilisateurs. L'objectif est d'éviter que la nouvelle application mise en place soit rejetée ou, plus fréquemment, utilisée de façon non optimale par manque de préparation ou de formation des utilisateurs.

## Problématique de la thèse

La section précédente a mis en exergue plusieurs limites des systèmes PLM. Nos travaux de recherche ont pour ambition de s'intéresser à la gestion des connaissances au sein de ces systèmes.

L'enjeu économique autour de la réduction et de l'optimisation du développement des produits est important pour les entreprises industrielles. Malgré le savoir-faire de ces entreprises, la réutilisation de la connaissance métier dans les processus de développement est loin d'être efficiente. Aujourd'hui, les systèmes PLM constituent le socle du système d'information des entreprises qui souhaitent centrer leur système sur le développement de leurs produits. Cependant, ces systèmes se limitent à une simple gestion des données et des informations.

La question que l'on peut se poser est la suivante : qu'en est-il de la connaissance ? Comme nous le présenterons au travers de plusieurs définitions dans l'état de l'art, (cf chapitre 3), les informations correspondent à une donnée contextualisée et la connaissance correspond à l'appropriation et l'interprétation des informations par les hommes. En tant que support du patrimoine technique, les systèmes PLM constituent dès lors un socle propice à la capitalisation et réutilisation de connaissances.

Notre recherche a pour objectif de proposer une méthodologie globale de déploiement d'un système PLM. Au centre de cette approche, nous proposerons une approche spécifique de définition du modèle de données prenant en considération la question de l'intégration des connaissances. Nous proposerons également un modèle ayant pour objet d'évaluer le modèle défini préalablement.

Les objectifs clairement identifiés nous amènent à poser les questions suivantes :

- Dans quelle mesure un système PLM peut-il être une plateforme pour la capitalisation des connaissances ?
- Dans quelle mesure une approche par les processus peut-elle être intéressante dans la phase de déploiement ?
- Comment intégrer des connaissances dans un système PLM ?
- De quelle manière mesurer la performance du système modélisé ?

Le schéma ci-dessous illustre nos axes de recherche et présente la trame de notre méthodologie.

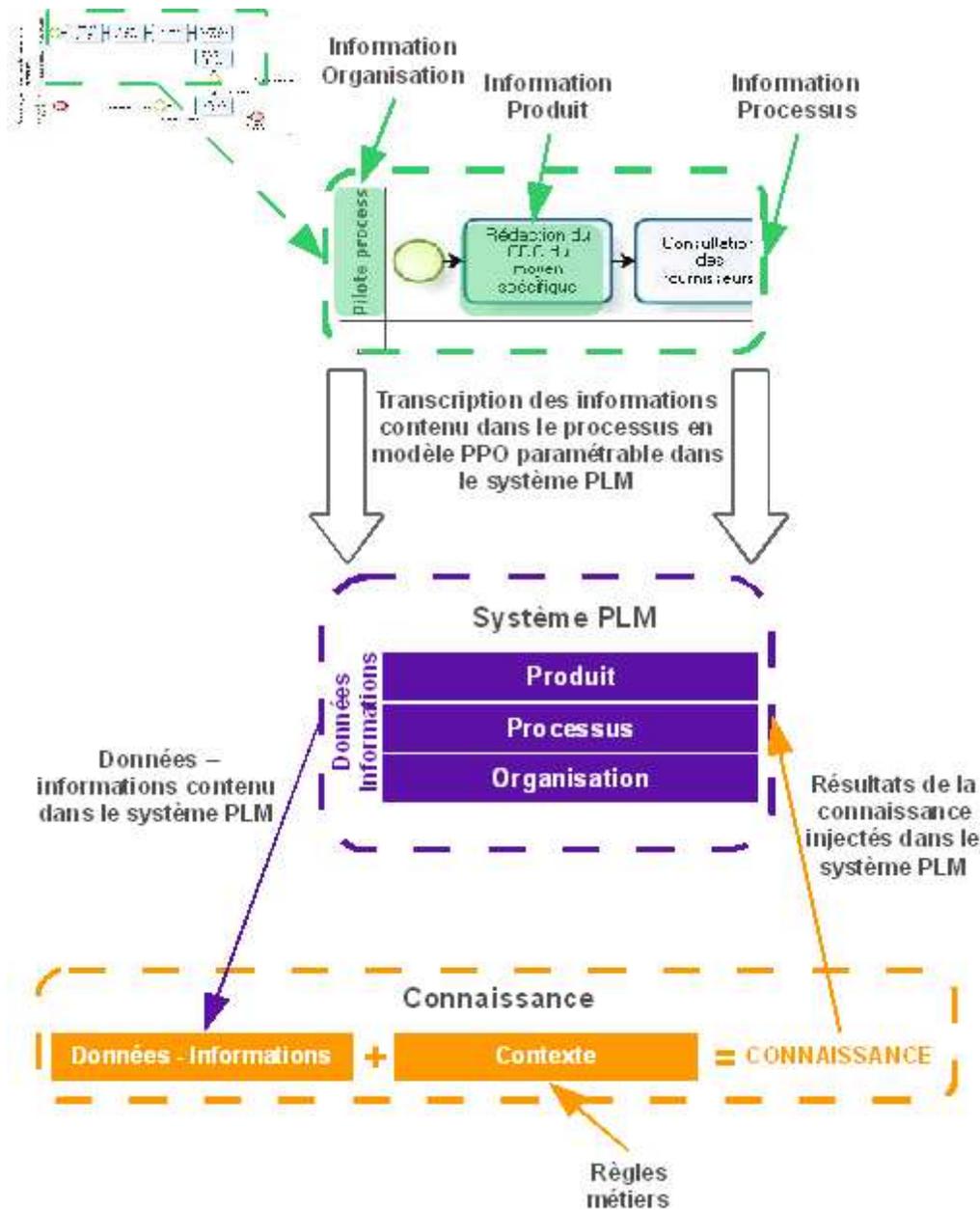


FIGURE 2 – Problématique générale de la thèse

## Description de notre approche

Nos travaux de recherche sont orientés vers les structures de type PME/PMI (Petite et Moyenne Entreprise/Petite et Moyenne Industrie) du secteur de la plasturgie. Les petites et les moyennes entreprises sont des entreprises dont la taille, définie à partir du nombre d'employés,

du bilan ou du chiffre d'affaires, ne dépasse pas certaines limites ; les définitions de ces limites diffèrent selon les pays. La réglementation française considère comme PME/PMI les entreprises de 10 à 250 salariés.

Nous avons constaté au travers de notre exemple industriel qu'un projet PLM constitue un projet d'envergure, souvent peu connu des PME/PMI et nécessitant un accompagnement spécifique. Or ces entreprises ont souvent des ressources assez limitées à consacrer à ces projets. Notre démarche est donc de proposer une approche globale de capitalisation qui vise un double objectif : proposer la capitalisation des connaissances dans une approche combinée à un projet de déploiement PLM dans un contexte PME/PMI.

A travers ces travaux, nous proposons des éléments de réponse adaptés à ces problèmes spécifiques :

- une méthodologie globale permettant de guider les PME/PMI qui s'engagent dans une démarche de déploiement d'un système PLM. La vision macro du projet présente les phases amont de rédaction du cahier des charges comme les phases aval de test et formation des utilisateurs ;
- une méthodologie spécifique à destination du concepteur du système visant à proposer une approche en cinq étapes permettant de définir le modèle de données tout en réfléchissant à l'intégration des connaissances ;
- un modèle d'évaluation du système à destination d'un public différent allant du concepteur, des utilisateurs, aux dirigeants.

## Organisation du document

La thèse est organisée en deux parties :

- la première concerne la présentation de l'état de l'art des domaines en lien avec notre problématique : systèmes d'information produit, processus métiers et connaissances.
- la deuxième est consacrée à nos propositions de démarche de déploiement d'un système PLM dans un objectif d'identification et d'intégration des connaissances.

La structure des parties est la suivante :

### **Première partie : Les systèmes d'information centrés sur les produits et sur la capitalisation du savoir-faire industriel**

#### **Chapitre 1 : Les systèmes d'information centrés sur les produits industriels**

Dans ce chapitre, nous présentons un état de l'art des systèmes d'information centrés sur les produits industriels. Le contexte de l'environnement des entreprises industrielles y est présenté afin de comprendre l'émergence de nouveaux besoins en terme de système d'information centré sur le produit. Nous présentons également les caractéristiques de ces outils ainsi que les principaux modèles existants. Puis, nous faisons un état des lieux des principaux acteurs et solutions existantes sur le marché.

#### **Chapitre 2 : La modélisation des processus métiers**

Nous traitons dans ce chapitre la modélisation des processus métiers. Nous positionnons dans un premier temps la vision des processus au sein des entreprises. Nous présentons l'évolution

de l'organisation du travail, depuis les premières théories managériales jusqu'à la vision de l'approche par processus. Nous nous attachons, ensuite, à définir le terme "processus" et étudions les différents langages de modélisation des processus. Enfin, nous abordons l'évaluation des processus au travers des indicateurs de performance.

### **Chapitre 3 : La formalisation des connaissances**

Dans ce chapitre, nous étudions le concept de connaissance. Après un tour d'horizon des diverses définitions existantes dans la littérature, une étude de ses cycles de vie est proposée. L'intégration de la connaissance est ensuite décrite par les différentes mémoires d'entreprise qu'il est possible de rencontrer et également par les méthodologies permettant de la capitaliser. Nous développons ensuite les différents formalismes permettant de les représenter et de les utiliser.

## **Deuxième partie : Approche globale d'implémentation d'un projet PLM**

### **Chapitre 4 : MPPI : Methodology for PLM Project Implementation - Une méthode globale d'implémentation d'un système PLM dans une PME/PMI**

L'objet de ce chapitre consiste à proposer une vision macro d'une approche de déploiement d'un système PLM. Ce chapitre présente le cadre des projets d'implémentation au sein des PME/PMI. Afin d'orienter ces projets vers la réussite, nous proposons un processus global de déploiement.

### **Chapitre 5 : MPPI-KI : Modélisation connaissance/information**

Ce chapitre est l'approfondissement d'un point crucial de la méthode globale décrit dans le chapitre précédent. Il s'agit d'une méthodologie en vue de définir le modèle de données du système PLM. Cette méthodologie propose une approche par les processus métiers. L'objectif est de concorder le plus possible au fonctionnement de l'entreprise. Ce modèle de données est envisagé sous deux aspects : les informations et les connaissances. La méthodologie proposée doit permettre de capitaliser et de réutiliser les connaissances au travers du système PLM.

### **Chapitre 6 : Expérimentation et validation**

Ce chapitre traite de la validation de notre approche et de son application au travers d'un cas industriel concret de la société Marmillon, dont l'activité réside dans la transformation de matières plastiques. Nous avons choisi de valider notre approche en construisant le modèle de données et de connaissance relatif au traitement du processus d'appel d'offre. Nous avons axé notre étude de capitalisation plus particulièrement sur l'activité de réalisation des devis. En effet, cette tâche nécessite des connaissances, en lien avec le calcul du temps de cycle pour produire une pièce plastique.

La figure suivante (fig. 3) schématise les différents contenus de notre proposition et les situe dans les deux parties de ce document.

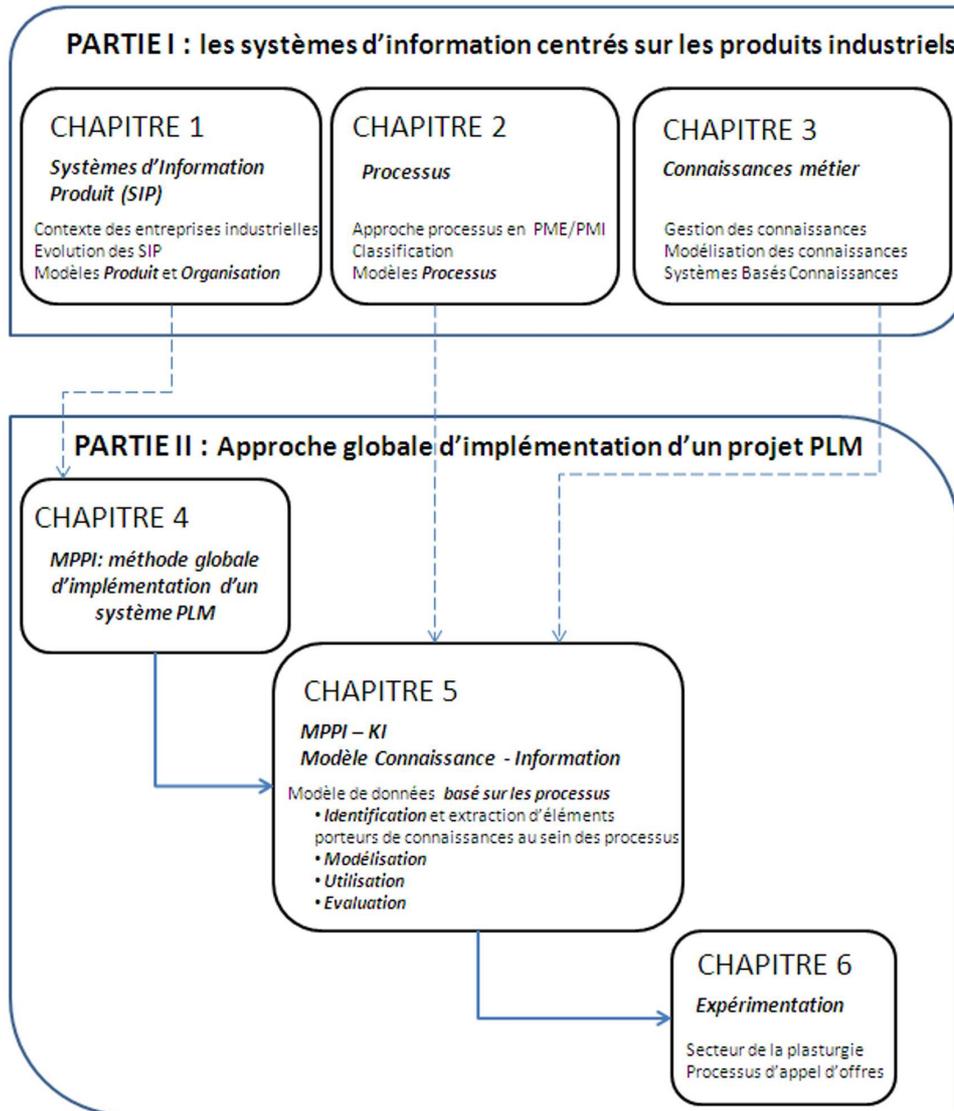


FIGURE 3 – Plan de lecture de la thèse

*Problématique de la thèse*

## Première partie

# Les systèmes d'information centrés sur les produits et sur la capitalisation du savoir-faire industriel



# Introduction

Cette partie présente un état de l'art des systèmes d'information spécialisés dans la capitalisation du patrimoine technique des entreprises. Cet état l'art est orienté sur les besoins définis par la problématique c'est-à-dire : les systèmes d'information produit, les processus métiers et la connaissance industrielle. Cette partie est donc structurée autour de trois chapitres :

- le premier chapitre présente plus particulièrement les systèmes d'information centrés produit. Ce chapitre aborde les concepts et les principales caractéristiques en lien avec ces systèmes, ainsi que les principaux modèles existants.
- le deuxième chapitre propose une synthèse autour des processus métiers. A partir de la vision des processus métiers au sein des entreprises, nous proposons dans ce chapitre un état de l'art des différentes définitions et typologies de processus existantes dans la littérature.
- Le troisième chapitre propose une étude de l'objet connaissance. Dans un premier temps, nous introduisons différentes définitions de la connaissance ainsi que la manière dont cette dernière évolue. Par ailleurs, ce chapitre récapitule les différents formalismes de la connaissance ainsi que les méthodes permettant de la capturer. Pour terminer, quelques systèmes à base de connaissance sont présentés pour conclure le chapitre

*Introduction*

# 1

## Les systèmes d'information centrés sur les produits industriels

### Sommaire

---

<b>1.1</b>	<b>Introduction</b>	<b>17</b>
<b>1.2</b>	<b>Contexte de l'environnement des entreprises industrielles</b>	<b>18</b>
1.2.1	Évolution de la production industrielle	18
1.2.2	Évolution des méthodes d'ingénierie	18
1.2.3	Évolution du système d'information des entreprises	19
<b>1.3</b>	<b>Caractéristiques des systèmes d'informations centrés sur les produits</b>	<b>21</b>
1.3.1	Introduction au Système d'Information Produit	21
1.3.2	Cycle de vie du produit	22
1.3.3	Composantes du SIP	23
<b>1.4</b>	<b>Approches existantes sur la modélisation Produit - Processus - Organisation</b>	<b>26</b>
1.4.1	Les modèles spécifiques	26
1.4.2	Les modèles intégrés	27
<b>1.5</b>	<b>Les systèmes informatiques de type SIP</b>	<b>28</b>
<b>1.6</b>	<b>Conclusion</b>	<b>30</b>

---

### 1.1 Introduction

Dans un environnement économique exigeant, accentué par l'intensification de la concurrence, les entreprises doivent répondre à des contraintes de plus en plus élevées, principalement en terme de délais de mise en œuvre et de qualité des produits. Parmi toutes les démarches d'amélioration de la compétitivité qui ont été explorées, l'optimisation du Système d'Information est une des préoccupations majeures des entreprises de ces quinze dernières années.

De nombreux besoins sont à l'origine de cette démarche autour du SI :

- l'accroissement des besoins de communication en interne dans la cadre de l'entreprise étendue;
- l'accroissement des besoins de coopération avec différents partenaires (clients, fournisseurs, sous-traitants, etc.);
- des besoins de réutilisation des expériences passées afin de réduire les coûts et délais de développement.

L'objectif de ce chapitre est de présenter un état de l'art sur les Systèmes d'Information Produit. Dans une première étape, nous positionnerons l'environnement industriel dans lequel ces systèmes sont utilisés en précisant ce qui a amené à leur usage. Puis dans une seconde étape, nous présenterons les principales caractéristiques ainsi que les principales approches de modélisation existantes au sein de ces systèmes. Enfin dans une troisième étape, nous résumerons les systèmes informatiques existants, support au SIP.

## 1.2 Contexte de l'environnement des entreprises industrielles

### 1.2.1 Évolution de la production industrielle

Depuis la révolution industrielle, l'environnement économique et industriel a subi de multiples transformations, où le développement de la production et des technologies ont joué des rôles primordiaux. Dans ce contexte, les entreprises ont dû faire évoluer leur mode de fonctionnement pour mettre en avant leurs avantages concurrentiels.

Au début de cette ère industrielle, les entreprises réalisaient "le produit" pour atteindre le plus grand nombre de clients tout en perfectionnant les systèmes de production. Après une rationalisation des systèmes de production, les entreprises ont modifié leur approche client en trouvant le moyen de fournir "le bon produit" aux clients. Cette étape est caractérisée par l'assurance d'un certain niveau de qualité (certifications et normes qualité). Ces garanties représentent toujours un avantage pour les entreprises qui appliquent ces normes. Mais très rapidement, les certifications qualité sont devenues des standards pour l'ensemble des entreprises du monde. Ainsi, les gains relatifs au système de la qualité ne sont plus distinctifs.

Aujourd'hui, nous assistons à l'apparition de nouveaux modes d'organisation du travail, des outils de production très évolués et des technologies sophistiquées. Les entreprises s'orientent de plus en plus vers la Recherche et le Développement des produits innovants et attrayants dans l'objectif de fournir aux clients "le meilleur produit possible". Pour que les entreprises puissent se différencier sur le marché, elles doivent capturer, contrôler et accroître leur capital intellectuel [Arb03].

Désormais, la connaissance et le savoir-faire de l'entreprise sont les piliers de l'innovation et sont devenus des avantages concurrentiels incontournables. Ce capital immatériel est un véritable enjeu stratégique et économique pour les organisations.

### 1.2.2 Évolution des méthodes d'ingénierie

Dans le défi du marché mondial, les entreprises doivent innover pour survivre. L'innovation doit se faire à tous les niveaux - produit, process et organisation - afin d'améliorer la compétitivité et les performances de l'entreprise. L'objectif industriel est triple : réduire les coûts, raccourcir les délais de développement et améliorer la qualité des produits.

Compte tenu du contexte économique actuel et de l'esprit de compétition qui en résulte, la Recherche et Développement est devenu un facteur déterminant de réussite pour les entreprises manufacturières. Le besoin permanent d'innovation et la prise en considération simultanée des exigences du client et des contraintes de production, de logistique ou de maintenance demandent aux équipes de projet une réactivité et une efficacité toujours plus grandes. L'émergence de nouvelles approches organisationnelles et managériales, ainsi que la maturité des technologies de l'information et de la communication nécessitent une adaptation fréquente voire une remise en cause des modes de travail, des savoir-faire et des compétences des acteurs de l'ingénierie.

Dans les organisations industrielles, le processus de développement des produits utilise de

multiples ressources applicatives et informationnelles définissant le produit, sa structure et son cycle de vie [Sri08].

Pour répondre à ces besoins de coordination des tâches et des ressources entre les différents intervenants, des méthodes d'ingénierie ont été développées. La principale vocation de ces méthodes consiste à "orienter et structurer les activités d'ingénierie d'une équipe projet" [Eyn05].

Plusieurs travaux dans la littérature, [Gom08], [Pet04], [PS93], [BG96], proposent des modèles que l'on peut regrouper en deux catégories : les modèles séquentiels et les modèles concurrents.

Dans le modèle séquentiel, les différentes tâches ou phases sont parcellisées et ne débutent que lorsque la tâche ou phase précédente est terminée. Ce type d'approche implique des délais de développement trop longs. Comme le souligne Petiot [Pet04], les contraintes de réduction des délais et des coûts de développement ont conduit ces dernières années à remettre en cause ce mode d'ingénierie.

De nouvelles formes d'organisations du développement produit ont été proposées. Citons par exemple, les méthodes d'ingénierie concurrente [PS93], simultanée [Boc98], intégrée [Tic96], distribuée [BG96] ou collaborative [GS02]. L'objectif premier de ces méthodes d'ingénierie est de prendre en compte toutes les étapes du cycle de vie du produit dès la conception. La mise en place de ces nouvelles organisations a nécessité de grandes mutations dans les pratiques industrielles. Ces méthodes d'ingénierie supposent l'intégration de certaines phases et supposent aussi de les réaliser de manière concurrente ou parallèle dans l'objectif de réduire les délais de mise sur le marché. Ces méthodologies consistent à faire intervenir de nombreux acteurs de différentes disciplines à différentes étapes du développement pour pouvoir travailler sur un même produit et utiliser des ressources communes. Les informations et documentations techniques autour d'un projet doivent être mises en commun. L'ingénierie concurrente ne peut pas être déployée sans une maîtrise totale de l'information technique et de la base documentaire qui accompagnent le développement des produits [BT97].

### 1.2.3 Évolution du système d'information des entreprises

#### Le système d'information des entreprises : définition et historique

Avant d'analyser l'évolution du système d'information dans l'entreprise, il convient d'en préciser le sens à travers quelques définitions. Ainsi, selon Angot [Ang05], un SI est un réseau complexe de relations structurées où interviennent hommes, machines et procédures, qui a pour but d'engendrer des flux ordonnés d'informations pertinentes provenant de différentes sources et destinées à servir de base aux décisions. Reix [Rei02] définit le SI comme "un ensemble organisé de ressources (personnel, données, procédures, matériel, logiciel, ...) permettant d'acquérir, de stocker, de structurer et de communiquer des informations sous forme de textes, images, sons, ou de données codées dans des organisations. Selon leur finalité principale, on distingue des systèmes d'information supports d'opérations (traitement de transaction, contrôle de processus industriels, supports d'opérations de bureau et de communication) et des systèmes d'information supports de gestion (aide à la production de rapports, aide à la décision...)." Finalement, un système d'information est un ensemble de moyens techniques, administratifs, et humains qui sert à la collecte, au classement et à la transmission d'informations entre les membres d'une organisation.

L'ingénierie de SI peut être présentée comme un processus par lequel les besoins du SI sont transformés en une solution logicielle fiable. L'ingénierie des SI est également connue sous le nom de processus de développement des SI. Ce processus comprend différentes étapes ou activités que l'on peut résumer en : l'analyse, la conception et l'implantation [Gza00]. Initialement, l'ingénierie des SI se déroulait sans aucune méthodologie explicite [AS97]. L'accent était mis sur la programmation et peu d'intérêt était porté à la formulation des besoins utilisateurs. Aujourd-

d'hui l'ingénierie des SI est réalisée avec des méthodologies. En se basant sur le type d'approche, quatre classes de méthodes sont distinguées :

- *les méthodes d'analyse* adoptent deux approches principales : une approche analytique qui recense l'information à fournir à la sortie du système et remonte aux entrées comme la méthode MINOS ; et une approche synthétique qui est axée sur les traitements et qui recherche les informations d'entrée pour en déduire les résultats comme la méthode CORIG.
- *les méthodes cartésiennes* comme SADT, se caractérisent par une approche fonctionnelle qui met en œuvre des concepts et des décomposition hiérarchique s'appliquant sur les processus et les flux de données et qui préconise une analyse et une conception du SI à partir de la définition de fonctions.
- *les méthodes systémiques* comme MERISE, AXIAL préconisent une approche conceptuelle globale du SI. Elles adoptent un processus de modélisation par niveaux d'abstraction successifs.
- *les méthodes objets* permettent la spécifications détaillées des éléments d'un SI en introduisant la notion d'objet regroupant structures de données et traitements. Elles sont nées de l'importance croissante des langages orientés objet. Certaines méthodes sont nées des concepts orientés objet comme UML2, SYSML, RUP ... d'autres ont été étendues pour prendre en compte ces concepts comme MERISE/2.

Le domaine des systèmes d'information et de communication a certes une forte composante technologique et informatique. Mais c'est seulement un aspect de ce domaine qui est en fait beaucoup plus vaste. Il s'agit de concevoir la manière dont circule et est stockée l'information de façon efficace et cohérente pour toutes les activités d'une entreprise, d'un réseau d'entreprises, d'une administration publique, des relations entre entreprises, etc.

Aujourd'hui, la tendance réside dans l'informatisation du SI, ce qui permet de gérer mieux un contexte économique de plus en plus complexe : partenariats, marchés concurrentiels, mondialisation, etc.

Dorénavant, les entreprises s'appuient davantage sur des progiciels qui représentent, par opposition aux développements spécifiques purs, plusieurs avantages :

- l'accumulation de multiples expériences d'utilisateurs qui permet aux éditeurs de concevoir des outils complets ;
- une meilleure capacité d'intégration avec des environnements existants ;
- une pérennité dans le temps en termes de mise à jour et de maintenance des outils.

Ainsi, dans les entreprises actuelles, le système d'information et de communication tend à s'orienter vers des ensembles plus globaux.

## **L'adaptation du système d'information face aux nouveaux besoins d'ingénierie**

Dans ce contexte de réduction des coûts et délais de développement de nouveaux produits, et pour répondre aux besoins des nouvelles organisations industrielles dites d'ingénierie "concurrente", de nouveaux outils logiciels apparaissent et tentent de s'intégrer au sein des entreprises. Le développement de ces organisations s'est accompagné d'une multiplication de l'offre dans le domaine des logiciels de systèmes d'information centré sur le produit (SIP) [Tol01][Per02][Gom08].

Aujourd'hui, les développements les plus récents s'orientent vers le domaine du "Product Lifecycle Management : PLM". Au carrefour de la "Conception Assistée par Ordinateur : CAO" qui gère la géométrie du produit, du "Customer Relationship Management : CRM", qui gère la relation client, des "Entreprise Resource Planning : ERP" dédiés à la gestion des ressources

### 1.3. Caractéristiques des systèmes d'informations centrés sur les produits

de l'entreprise, le PLM a pour vocation de centraliser, dans un contexte d'entreprise étendue, l'ensemble des données techniques concernant le développement d'un produit industriel (fig. 1.1).

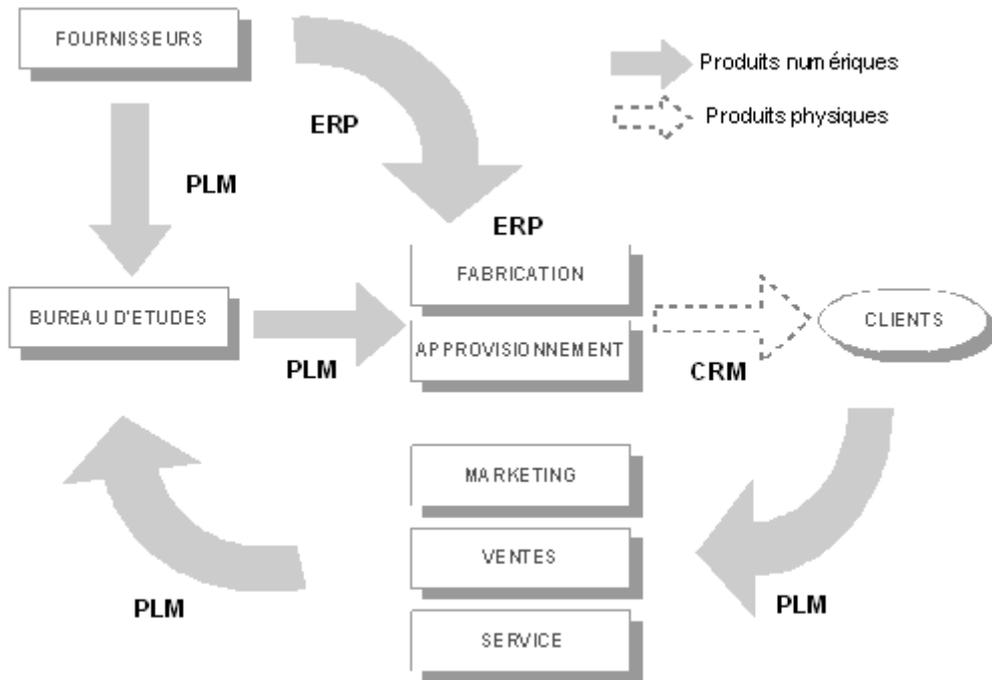


FIGURE 1.1 – Chaîne de valeur des produits numériques

## 1.3 Caractéristiques des systèmes d'informations centrés sur les produits

### 1.3.1 Introduction au Système d'Information Produit

Les Systèmes d'Information centrés Produit ou Systèmes d'Information Produit (SIP) sont, en première analyse, relatifs aux activités de conception et de développement de nouveaux produits, et plus généralement aux activités de développement de l'offre produit. En première analyse seulement, car un certain nombre d'informations provenant du processus de production sont susceptibles d'être concernées et « gérées » au sein des SIP. Ces informations sont essentiellement celles liées au « feed-back » de production dans un but de maintenance et/ou de capitalisation des connaissances.

Au final, les SIP sont les systèmes d'information qui supportent la gestion du cycle de vie des produits, terme désignant simultanément la gestion des structures produits, des données techniques et documents associés, des processus sous-jacents, autrement dit l'ensemble des informations issues du développement des produits.

Cauvet [CRE<sup>+</sup>01] propose quatre éléments spécifiques aux SIP :

- les informations relatives aux produits constituent le socle de structuration et permettent leur utilisation au sein des processus de la conception au service après vente ;

- les documents techniques caractérisent les sources d'information adaptées aux métiers des différents acteurs (instructions, plans, etc...);
- les fichiers d'échanges permettent d'échanger avec les autres outils informatiques (simulation, CAO, etc...);
- les workflows caractérisent la manière dont chacun participe à la gestion des données techniques.

La littérature propose plusieurs définitions plus ou moins formelles des Systèmes d'Information Produit. Nous avons retenu les suivantes :

- "un dispositif organisationnel permettant de réguler la création, la circulation, l'utilisation et l'évolution du patrimoine informationnel de définition du produit, c'est à dire l'ensemble des informations qui définissent comment le produit est conçu, fabriqué et utilisé." [Per02]
- "une approche stratégique de gestion de l'information concernant le produit dans tout son cycle de vie : de la définition, jusqu'à la mise hors service en passant par la fabrication et l'entretien." [Saa04]
- "une approche stratégique d'entreprise, qui applique un ensemble de solutions pour soutenir un mode collaboratif, la création, la gestion, la dissémination et l'utilisation de l'information de définition des produits, en entreprise étendue, du concept à la fin de vie en intégrant les acteurs, les processus, les systèmes d'information" <sup>3</sup>

Ces différentes définitions mettent en évidence deux points essentiels qui caractérisent les systèmes d'information produit : les composantes primaires constituant un SIP (processus, produit, organisation) et le concept central de cycle de vie produit. Dans les paragraphes suivants, nous allons définir le périmètre du cycle de vie d'un produit et présenter plus précisément les composantes du SIP.

### 1.3.2 Cycle de vie du produit

Le terme a été introduit par Theodore Levitt en 1965 dans un article de la revue Américaine Harvard Business Review<sup>4</sup>. De manière générale, le cycle de vie du produit indique l'ensemble de toutes les phases reconnues comme des étapes plus ou moins indépendantes, poursuivies par le produit depuis l'idée de sa création jusqu'à son retrait ou son démantèlement, telles que : la conceptualisation, la conception, la planification des gammes de fabrication, la production, la distribution, l'utilisation, le démantèlement et parfois le recyclage [VR99].

Ces dernières années, un bon nombre de définitions du cycle de vie du produit ont vu le jour [SRF<sup>+</sup>05], [SFSW05]. L'ensemble de ces définitions se rejoignent cependant sur le fait que chaque étape du cycle de vie du produit intègre des activités, des acteurs, et des domaines d'expertises différents mais dépendants les uns des autres [Ger08]. La figure (fig. 1.2) s'inspire des travaux de Subrahmanian [SRF<sup>+</sup>05]. Le concept de cycle de vie produit dans une vision PLM est illustré à travers ce schéma où les flèches symbolisent à la fois les flux d'information et de données échangées entre les acteurs et l'évolution du produit dans son cycle de vie. Il est important de préciser que les actions menées ne sont pas toujours séquentielles. Dans le cadre d'une approche d'ingénierie simultanée, plusieurs activités peuvent avoir lieu en parallèle (ce qui n'est pas explicitement représenté par le schéma mais toutefois pris en compte).

---

3. ed miller cimdata

4. « Exploit the Product Life Cycle » (vol. 43, novembre-décembre 1965, pp 81-94)

### 1.3. Caractéristiques des systèmes d'informations centrés sur les produits

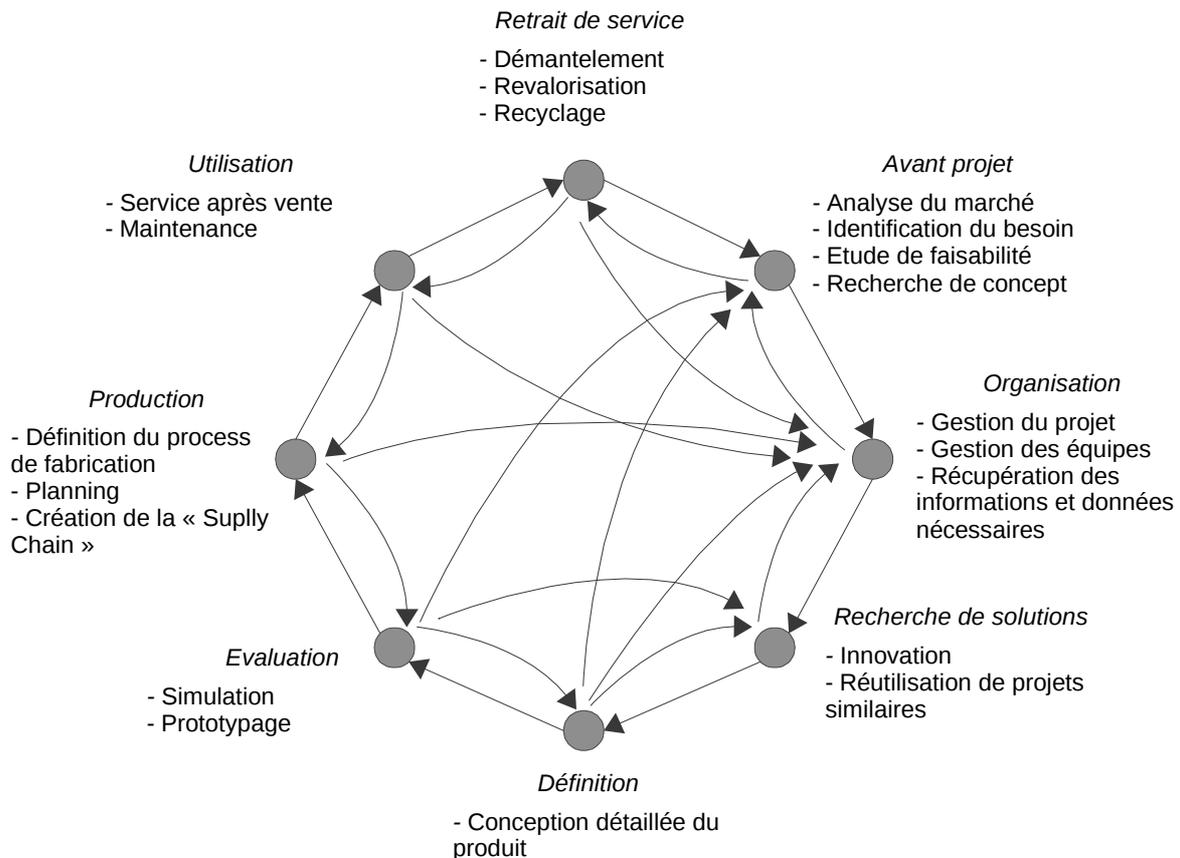


FIGURE 1.2 – Cycle de vie du produit et activités associées [Cha05]

#### 1.3.3 Composantes du SIP

Le SIP occupe une place de plus en plus importante dans les entreprises puisqu'il a l'ambition de gérer les informations et les processus qui caractérisent le développement des produits industriels. Les définitions, apportées précédemment, nous permettent de mettre en évidence deux notions essentielles dans les SIP :

- **Les informations produit** qui vont structurer et stocker le capital informationnel technique ;
- **Les processus industriels** qui vont caractériser les différentes étapes du développement du produit.

Divers travaux [Per02], [RM06] dans le domaine mettent également en évidence une composante organisation. En effet, comme nous l'avons souligné précédemment, le contexte industriel a modifié les modes d'organisation du travail, favorisant le travail coopératif. L'objet des deux sections suivantes est de présenter les modèles produit et organisation au sein des SIP. Les modèles de processus seront étudiés dans le chapitre suivant (cf chapitre 2).

#### La composante Produit

La composante Produit structure les informations relatives aux produits industriels. Les premières démarches de structuration importantes aux informations "Produit" (dénommée aussi

données techniques) sont apparues avec le concept du "Computer Integrated Manufacturing". Les données techniques englobent toutes les informations relatives aux produits à toutes les étapes de leur cycle de vie [Mau93], [Ran95]. Elles possèdent les caractéristiques complexes (unicité, hétérogénéité, complexité, évolutivité) [Per02].

Les informations relatives aux produits sont disséminées dans des documents aux formats divers. Historiquement, la plupart des systèmes font la distinction entre contenu et contenant [Ran95], [Pri98]. Le contenu est constitué d'informations résultant d'un savoir faire et est explicité par un ou plusieurs acteurs. C'est généralement le cas des documents manipulés comme un cahier des charges, un plan CAO, etc.. Le contenant est caractérisé par les informations qui vont permettre la gestion de ces documents. Elles sont généralement regroupées au sein des métadonnées [Ran95], [Che92] [Rol99].

Le produit est un véritable concept dont la représentation dépend du point de vue de celui qui l'utilise. Le produit en tant que bien fabriqué par l'entreprise se définit simplement par : "la combinaison des biens et des services à fournir" [NKM94]. Le produit est également un regroupement d'informations et de données qui organise et structure la connaissance qui va permettre de le concevoir et de le produire. Implicitement, le produit possède une représentation multi-critères avec différents niveaux d'abstraction [Gza00] et différents niveaux de composition et d'évolutivité [Per02].

La structuration des produits est à la base du modèle produit qui va être stocké et géré par le système, quelque soit son niveau d'abstraction de composition ou d'évolutivité. Concernant l'usage le plus courant, la démarche pour structurer les produits est de caractériser ses éléments constitutifs. Ceci est relativement bien défini par différentes normes [AFN85] (les articles, les fonctions, les nomenclatures, les documents). Les documents sont répartis en plusieurs catégories illustrés par le tableau ci-dessous (tab. 1.1).

Catégorie	Nature	Domaine
Documents textuels	Dossiers techniques (définition, exécution, configuration,...)	Tous
	Document qualité (manuel, procédure, instruction, ...)	Fabrication, maintenance
	Notice d'entretien, plaquette commerciale, rapport, tableau de bord, présentation	Commerciale, marketing, maintenance
	Documents structurés	Tous
Documents non textuels	Documents multimédias	Tous
	Diagramme	Industrialisation, fabrication
	Architectures produits	Tous
Images	Géométrie 2D, 3D	Conception, fabrication
Fichiers structurés	Article, nomenclature, gamme, ordre de fabrication, ...	Conception, industrialisation, fabrication

TABLE 1.1 – Typologie des documents

## La composante Processus

L'approche par les processus vise à développer le contrôle et l'automatisation de l'activité industrielle et notamment comment se constitue et évolue le patrimoine technique. Même si ces objectifs ne sont pas toujours atteints, la démarche processus vise à améliorer l'agilité, ainsi que la maîtrise de la complexité et la synergie au sein de l'entreprise. Pour cela, elle apporte des méthodes et outils pour produire un modèle d'entreprise, dont les modèles de processus sont une pièce centrale. Créer une carte globale des processus et définir un modèle détaillé d'un ou plusieurs processus sont les deux activités de base du cycle de vie d'un processus. Au sein d'un système d'information produit, les processus ont pour vocation d'organiser la création, la circulation, l'utilisation et l'évolution des données produit. Nous reviendrons plus en détail sur la vision processus dans le management des entreprises et sur la modélisation des processus dans le chapitre 2.

## La composante Organisation

L'entreprise, quelque soit le contexte industriel, est par essence même une activité organisée. Les différents acteurs d'un projet se regroupent dans le but d'améliorer l'efficacité globale du groupe : la somme des résultats du groupe est supérieure à la somme des résultats individuels que chaque acteur aurait pu obtenir individuellement [Bar38], et les interactions permanentes permettent ainsi de dépasser les limites du travail individuel [Sim91].

Dans ses travaux sur la théorie des organisations [Sco87], Scott définit l'organisation comme un regroupement qui se caractérise par "une structure sociale formalisée, un partage d'intérêts commun pour des activités communes, une coalition d'intérêts individuels fonctionnant par la négociation". Cette approche s'applique relativement facilement dans le domaine de l'entreprise. Par ailleurs, elle met en évidence la nécessité de définir une structure support de l'organisation. "La structure d'une organisation peut être définie simplement comme la somme totale des moyens employés pour diviser le travail en tâches distinctes et pour ensuite assurer la coordination" [Min78]. La coordination dans ce contexte correspond à la planification des ressources (humaines et matérielles) et leurs affectations aux différents projets.

Comme nous l'avons défini précédemment, les SIP ont pour objectif d'améliorer la coordination, la coopération et la collaboration. Il convient donc dans un premier temps de définir ces concepts.

- **Coordonner** : "agencement de choses, d'activités dans un but déterminé"[Bar00]. "La coordination est ainsi l'ensemble des règles et procédures qui assurent le fonctionnement d'un groupe de concepteurs, c'est-à-dire l'affectation des ressources nécessaires aux différents acteurs et la facilitation de l'accès aux différentes informations et connaissances pouvant les aider à atteindre plus rapidement leur but" [Ros01] .
- **Coopérer** : au sens le plus général, "la coopération serait une action collective orientée selon un même but, à travers laquelle des sujets contribuent au même résultat" [DTC90] .
- **Collaborer** : la collaboration correspond à l'action de travailler avec d'autres, à une œuvre commune. La collaboration implique la création d'une vision commune des questions à traiter ainsi qu'un espace commun pour stocker et partager des informations. Elle s'appuie sur un engagement mutuel des participants dans un effort coordonné pour résoudre ensemble un problème posé.

## 1.4 Approches existantes sur la modélisation Produit - Processus - Organisation

### 1.4.1 Les modèles spécifiques

#### Les modèles "Produit" .

Depuis les origines des systèmes PDM<sup>5</sup>, nous trouvons un grand nombre de modèles *Produit* convergeant ou divergeant selon les orientations techniques des domaines d'expertise. En effet, le modèle produit a pour vocation de capitaliser l'ensemble des informations sur le produit à tous les niveaux de description afin de permettre sa réalisation au sein des activités de l'entreprise [Per02]. Ainsi, ce modèle doit :

- permettre le maintien et la cohérence entre tous les éléments constitutifs,
- garantir la pérennité et le stockage de l'information sur les produits,
- être exploitable, accessible et diffusable.

Dans le domaine de la conception, le modèle produit a pour but de faciliter le travail du concepteur en proposant les éléments adaptés à une démarche de conception. Ils existent de nombreux modèles :

- **le modèle produit FSB (Function - Behaviour - State)**. Le modèle FBS [UTTO90] est basé sur une description fonctionnelle à base d'entités qui décrivent les intentions de conception (Function) et les séquences de changement d'état (Behavior). Ce modèle comporte plusieurs étapes : la définition des besoins, l'analyse des besoins pour en déduire l'ensemble des *fonctions*, la décomposition des fonctions en sous-fonctions pour déterminer les *comportements* qui vont être associés au produit, enfin le comportement produit amènent le concepteur à l'élaboration de la structure produit. Le processus se décompose en trois activités : l'activité "description fonctionnelle", l'activité "actualisation fonctionnelle", l'activité "évaluation fonctionnelle".
- **le modèle FEP (Function - Evolution - Process)** est une évolution du modèle FBS proposée dans [SYT<sup>+</sup>98]. Ce modèle représente la mise en œuvre des entités *fonction* dans le processus de conception. La description fonctionnelle de l'objet à concevoir est graduellement affinée et détaillée.
- **Le modèle produit CPM : Core Product Model**  
Le modèle produit CPM [Fen01] a pour but de fournir un noyau de représentation générique d'information produit capable de représenter les connaissances communes entre les activités de développement produit. Le modèle met en place d'une manière plus ou moins explicite les concepts fonction, structure, comportement :
  - La *fonction*. Le modèle met en place une forme particulière de fonction appelée "fonction de transfert de flux" (énergie, fluide, information, etc.),
  - Le *comportement* est représenté par la classe "Behavior". Il contient trois attributs "behaviorModel", "observedBehavior" et "evaluatedBehavior",
  - La *structure* du produit est définie conjointement à partir des notions d'"artefact", "feature" et "form".

#### Les modèles organisation - processus .

L'entreprise est une réalité complexe qu'il est nécessaire de modéliser, pour d'une part la rendre intelligible et, d'autre part, autoriser le raisonnement d'un acteur ayant un projet bien

---

5. Product Data Management

#### 1.4. Approches existantes sur la modélisation Produit - Processus - Organisation

défini à réaliser. En d'autres termes, un modèle d'entreprise a pour objectif de formaliser tout ou partie de l'entreprise dans le but de comprendre ou d'expliquer une situation existante ou pour réaliser ou valider un projet conçu [BHB95]. Des concepts ont été mis en place de façon à proposer des formalismes conduisant à des modèles d'organisation permettant une meilleure compréhension des mécanismes liés à leur fonctionnement. Un ensemble de concepts est utilisé dans la littérature pour modéliser les organisations : activités, processus, tâches, ressources, acteurs, etc.).

Un modèle d'entreprise est toujours associé à une finalité et il doit, suivant les besoins, être capable de prendre en compte les aspects structurels, fonctionnels et comportementaux. Outre ces aspects, il doit également être capable d'appréhender le point de vue particulier d'un acteur. Par l'intermédiaire de langages ou de méthodes, les entreprises peuvent être modélisées afin de mieux analyser et comprendre leur fonctionnement.

Dans la littérature, il existe de nombreuses méthodes. Dans un premier temps, nombre de méthodes se sont spécialisées sur un aspect particulier : IDEF0 pour la modélisation des activités ou MERISE pour la modélisation des systèmes d'information. Dans un second temps, de nouvelles méthodologies sont apparues. Elles permettent de modéliser l'entreprise d'un point de vue global.

Toutefois chacune de ces méthodes présente un pouvoir d'expression qui leur est propre et ne modélise pas, en général, la totalité de l'entreprise. D'autre part, chaque outil ou méthode possède ses propres concepts et ses propres définitions. A titre d'exemple,

- GRAI [Rob93] est basée sur une décomposition du système de décision suivant deux axes : temporel et fonctionnel. La décomposition temporelle se fait par période de décision décroissante et la décomposition fonctionnelle se fait suivant les différentes fonctions de la gestion de production.
- CIMOSA [ami93] est une architecture de conception de systèmes intégrés. Développée à l'origine dans le cadre du programme ESPRIT, par le consortium AMICE comprenant une vingtaine de laboratoires européens, la méthode CIMOSA cherche à unifier dans un même formalisme, différents flux (matière, information, contrôle, ...). CIMOSA comprend un cadre de modélisation et un cadre méthodologique. Cette méthode prend en compte les aspects statiques de l'entreprise, les aspects dynamiques, l'indéterminisme par la gestion des événements et des exceptions, ainsi que les aspects temporels à travers les dates d'occurrence des événements et les durées d'exécution des activités.
- ARIS [Sch99] est bâti sur une approche multi-niveaux (conceptuel, technique, implémentation) et multi-vues (fonction, information, organisation, contrôle). Le modèle se fonde sur une modélisation des processus par un diagramme de processus, réalisée à l'aide d'une boîte à outils. ARIS permet de représenter le système avec différents modèles, selon plusieurs vues fonction, information, organisation, contrôle.

#### 1.4.2 Les modèles intégrés

Le modèle PPO (Produit Processus Organisation) développé dans le cadre du projet IPPOP (Intégration Produit Processus Organisation pour l'amélioration des Performances) en conception véhicule les concepts FBS, mais s'inspire également des travaux de recherches liés à la conception intégrée qui ont traités la notion du modèle produit [Con96], [CK97], [Rou99]. Le modèle produit de IPPOP propose :

- des représentations multiples par des outils informatiques annexes,
- des niveaux de détail multiples avec des degrés de granularité variable selon la situation rencontrée,
- des vues différentes qui permettent une description du produit selon la culture technique de l'acteur,

- des comportements différents pour décrire les états du produit.

Ce modèle produit utilise le concept d'"entité modélisée", qui est l'élément central dans la décomposition du modèle produit. Basée sur le concept FBS, cette entité peut être déclinée en quatre classes : composant, interface, fonction, comportement.

Le modèle IPPOP dont le modèle produit a été présenté précédemment propose également un modèle de processus piloté par les données produit et reposant sur les concepts de [Ros04] :

- **Activité** : c'est une action effectuée par une ou plusieurs ressources pour satisfaire des objectifs et des contraintes fixés par l'organisation. Différentes sortes d'activités sont utilisées en alternance ou en parallèle : des activités de conception pure, des activités de collaboration.
- **Objectif** : performance particulière à atteindre par le résultat de l'activité,
- **Contrainte** : objet ou règle qui doit être respecté par l'activité,
- **Ressource** : moyen nécessaire pour réaliser une activité,
- **Données techniques** : données du domaine sur lesquelles l'activité agit afin de réaliser son objectif.
- **État** : caractérise le statut effectif de la donnée, lié à une politique de droits d'accès à la donnée.
- **Maturité** : caractérise le degré de confiance qu'un acteur accorde à une donnée en fonction de son point de vue avant de la diffuser aux autres acteurs,
- **Transition** : se réfère aux conditions minimales requises sur les données techniques et leur maturité respective pour le lancement de l'activité,
- **Déclencheur** : événement ou action qui influe sur le départ de l'action,
- **Jalon** : Sous-type d'objectif de type temporel, associé à la disponibilité de la donnée, c'est-à-dire précisant la date objective et la date réelle à laquelle une donnée doit être livrée dans un certain état.

Le projet IPPOP dont les modèles produit et processus a été présenté précédemment propose une modélisation des organisations. Ce modèle est en partie basé sur les concepts de GRAI-R&D [Gir04] [Rob93]. Il est composé de :

- **Projet** : définit la finalité de la conception ou le domaine qui est objet de la conception ainsi que l'organisation locale mise en œuvre pour la satisfaction des objectifs de conception. Un projet se décompose en sous-projets.
- **Centre décisionnel** : définit un espace décisionnel c'est-à-dire le lieu où se prend une décision.
- **Cadre de décision** : établit les liens décisionnels qui existent entre les centres de décisions.
- **Cadre de conception** : définit le contexte dans lequel devra se dérouler le travail dans le centre de conception.
- **Niveau** : permet de structurer les objets définis dans le modèle organisation.
- **Performance** : permet d'assurer une évaluation ou une mesure des actions réalisées afin d'assurer le suivi pour corriger ou anticiper.

On trouve dans la littérature d'autres modèles intégrés autour de ces composantes comme les modèles proposés par Harani [Har97] ou Pernelle [Per02].

## 1.5 Les systèmes informatiques de type SIP

Historiquement, les premiers systèmes étaient développés par les éditeurs de CAO et avaient pour fonction la gestion des données d'étude. L'extension naturelle des fonctionnalités a permi

de définir les systèmes PLM (Product Data Management) comme un composant majeur du système d'information. On retrouve donc différents acteurs :

– **les acteurs issus de la CAO**

On retrouve sur ce marché des acteurs qui offrent une suite PLM couplé avec leur CAO. En effet, dans les entreprises, les données CAO représentent une part importante des données à gérer. De plus, de part les assemblages, ces données sont souvent complexes et nécessitent une gestion fine. Les entreprises s'engageant dans une démarche PLM accordent une grande importance à l'interface possible entre leurs solutions CAO et la solution PLM choisie. Compte tenu de l'engouement grandissant pour ce type de solutions, les acteurs du monde de la CAO se sont orientés vers ce créneau afin de proposer une offre complète. On trouve sur ce marché des éditeurs comme PTC, Dassault Systems, etc.

– **les acteurs issus de l'ERP**

ERP et PLM sont intimement liés. Ces deux briques du système d'information apparaissent comme complémentaire, même si les limites ne sont toujours limpides et qu'il arrive que l'une des solutions empiète sur les fonctionnalités de l'autre. De plus, on remarque, principalement au sein des grandes structures, qu'un projet PLM peut être envisagé dans une démarche globale intégrant le PLM au sein d'une organisation plus large d'ERP. Les acteurs sur ce marché sont : SAP, Cegid, IFS, etc.

– **les acteurs issus de grands groupes industriels**

Les acteurs issus de grands groupes sont présents sur de nombreux marchés. Ils procèdent par acquisition et leur démarche s'inscrit généralement dans une logique d'intégration verticale numérique de l'entreprise. On retrouve au niveau des grands groupes des acteurs tels que Oracle, Siemens, etc.

– **les acteurs indépendants**

En ce qui concerne les acteurs indépendants (Assetium, Lascom etc.) , ils proposent des solutions sans couplage avec un outil métiers spécifique. De fait, les outils sont utilisés dans des secteurs industriels divers (agro-alimentaire, pharmacie etc.).

Par ailleurs, le paysage des éditeurs a changé de visage après deux années de consolidation. « C'est très intéressant car les uns et les autres ne se positionnent plus comme des concurrents directs. Ce n'est plus CAO contre CAO, SGDT contre SGDT. Mais chacun suit sa propre voie. » analyse Ed Miller du CimData.

Le marché du PLM mondial croît de 13,5% selon Cimdata pour atteindre 24,3 Md\$. Après une phase de consolidation, les acteurs majeurs se repositionnent chacun sur des voies différentes. Alors que les éditeurs de ERP font leur grand retour sur ce marché...

En 2007, le PLM a affiché une croissance de 13,5%, plus importante que prévu. C'est le constat établi comme en 2006 par le cabinet d'études spécialisé Cimdata. Celui-ci estime que le marché mondial des outils de gestion du cycle de vie des produits (product lifecycle management, PLM) représente aujourd'hui 24,3 Md\$, et devrait atteindre 40 Md\$ en 2012 avec une progression annuelle moyenne de 9,8%.

« Nous voyons de plus en plus les grandes entreprises lancer des projets majeurs de PLM complet, explique Ed Miller, président de Cimdata. Une attitude qui accentue la pression sur les éditeurs. » Pour Cimdata, le PLM complet correspond au PLM intégré dont les fournisseurs parlent depuis longtemps déjà mais qui reste encore peu pratiqué par les entreprises. Il s'appuie sur une vision globale et collaborative du cycle de vie des produits et non sur un vague puzzle accolant CAO, SGDT et workflow.

Sur la totalité des ventes mondiales du PLM, les outils de conception assistée par ordinateur (CAO, CAO mécanique, etc.) continuent de représenter la plus grande part avec 16 Md\$. La SGDT, gestion collaborative de documents techniques, qui ne compte que pour 7,5 Md\$, présente cependant la plus forte croissance avec 16,3%.

## **1.6 Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons dressé un état de l'art des systèmes d'information centrés sur les produits. Ces systèmes, notamment les systèmes PLM, sont nés d'un besoin des entreprises de travailler en mode collaboratif, suite aux évolutions des méthodes d'ingénierie. Les systèmes PLM centralisent des outils permettant de gérer les données et de les diffuser au bon moment dans des environnements hétérogènes. Ils sont donc centrés sur le cycle de vie du produit et permettent de gérer trois composantes essentielles : la composante Produit, la composante Process (développée dans le Chapitre 2) et la composante Organisation. Les approches existantes développées autour de ces trois composantes permettent d'aboutir soit à des modèles spécifiques produit ou des modèles spécifiques organisation - processus, soit à des modèles intégrés. Enfin, les systèmes PLM, historiquement développés par les éditeurs CAO, s'inscrivent dans une logique d'intégration numérique de tous les outils au sein de l'entreprise (CAO, ERP, SCM, CRM).

# La modélisation des processus métiers

## Sommaire

---

<b>2.1</b>	<b>Introduction</b>	<b>31</b>
<b>2.2</b>	<b>La vision processus dans le management des organisations</b>	<b>32</b>
2.2.1	Les processus dans l'organisation de la production	32
2.2.2	Les processus dans le management de l'entreprise : vers la qualité totale	32
2.2.3	BPM/BPR	33
2.2.4	Les normes ISO 9000 : 2000 et l'approche processus	33
<b>2.3</b>	<b>Les processus métiers</b>	<b>34</b>
2.3.1	La définition d'un processus	34
2.3.2	Classification des processus	35
<b>2.4</b>	<b>La modélisation des processus</b>	<b>37</b>
2.4.1	Objectif de la modélisation	37
2.4.2	Conception et exécution des processus	38
2.4.3	Les langages de modélisation	38
<b>2.5</b>	<b>L'évaluation des processus</b>	<b>47</b>
2.5.1	Pilotage par les indicateurs de performance	47
2.5.2	Typologie des indicateurs de performance	48
<b>2.6</b>	<b>Conclusion</b>	<b>49</b>

---

## 2.1 Introduction

La gestion des processus métiers de l'entreprise constitue un des grands sujets de préoccupation des entreprises. Elles y sont poussées par leur constante nécessité d'optimiser leur performance pour rester compétitives sur leur marché. Les processus sont caractéristiques du comportement global de l'entreprise. Leur modélisation va permettre de faciliter la communication entre les acteurs et surtout de rationaliser, voire automatiser, tout ce qui peut l'être.

Dans ce chapitre, nous allons présenter la vision processus dans le management des entreprises. Il s'agit notamment de poser les bases qui ont amené les entreprises industrielles à un pilotage par les processus. Puis, nous expliciterons les principaux concepts structurants liés à la notion de processus qui va amené à la notion de processus métier actuel. Enfin nous présenterons

des principaux outils de modélisation des processus qui permettent de les mettre en œuvre dans les entreprises.

## 2.2 La vision processus dans le management des organisations

Tout travail collectif pose la question de l'identification des activités conduisant aux résultats, de leur répartition et de leur coordination. Longtemps, la préoccupation a été d'ordre technique, c'est-à-dire comment diviser le travail pour atteindre l'objectif visé. Les premières théories managériales ont cherché à optimiser la division du travail par une définition précise des tâches à exécuter. Inversement le management par objectifs a préconisé de piloter l'entreprise en laissant une large autonomie aux différentes entités structurelles à différents niveaux. La recherche d'une bonne structure ou d'une structure adaptée (notamment à l'objectif, à la culture ou à l'environnement économique) a été longtemps l'objectif majeur de l'organisation des activités.

### 2.2.1 Les processus dans l'organisation de la production

L'idée initiale du JAT a été formulée vers 1935 par Toyoda, patron de Toyota. Le JAT est un système de gestion construit autour d'une philosophie simple soutenue par deux principes : l'élimination du gaspillage et le respect de la personne. Le principe repose sur le fait d'acheter la matière première au moment où l'on en a besoin, et vendre immédiatement les véhicules produits sans les stocker. L'activité de l'entreprise est alors pilotée par les commandes des clients. Le JAT a marqué une rupture dans la gestion de production industrielle, par rapport au système conçu par Henri Ford au début du 20<sup>ème</sup> siècle. Ce dernier permettait de fabriquer un produit unique en grande quantité et au moindre coût. Il s'agit maintenant de produire une variété de modèles en petit nombre, mais avec des contraintes de coût et de délais accrues.

L'apport du JAT au courant processus est double. Il a remis en questions les frontières traditionnelles de divisions de l'entreprise, en s'attachant à penser la production comme des flux transversaux. Ensuite, il a posé les fondements de remise en cause régulière de l'organisation du travail avec un objectif d'amélioration continue. Dans les évolutions actuelles, les JAT s'appliquent non seulement au système de production, mais intègrent également les processus de marketing et de développement de nouveaux modèles. Ce nouvel horizon rencontre un autre courant qui a contribué à une vision processus pour l'ensemble de l'entreprise : la qualité totale.

### 2.2.2 Les processus dans le management de l'entreprise : vers la qualité totale

Lors du passage du 19<sup>ème</sup> siècle au 20<sup>ème</sup> siècle, on a assisté au transfert de la production et de la consommation de masse au concept de satisfaction d'une masse de clients de plus en plus diversifiée ; des industries lourdes ou artisanales exploitant des richesses naturelles au profit d'une minorité, à une meilleure utilisation des ressources humaines de l'entreprise. De nombreux industriels (Taylor, Fayol, Ford, Sloan, Ohno, Deming, Drucker, ect.) ont apporté leur pierre à l'édification de l'entreprise contemporaine caractérisée par : l'organisation scientifique du travail, la production économique éliminant le gaspillage, l'optimisation des ressources, etc.

A la fin des années 1940, Feigenbaum et Juran développent le concept de "qualité totale", c'est-à-dire la recherche de qualité étendue à l'ensemble de l'entreprise et impliquant les managers. Le mouvement de la qualité totale a introduit le concept de processus comme une unité d'analyse de toutes les activités de l'entreprise.

### 2.2.3 BPM/BPR

La méthode de réingénierie des processus métier ou BPR a été décrite par Hammer et Champy dans les années 80. Le BPR (Business Process Reengineering) est un processus consistant à revoir en profondeur le mode de fonctionnement de l'entreprise. L'activité, jusqu'alors spécialisée verticalement (par type d'activité) est désormais organisée horizontalement pour satisfaire au mieux les besoins du client. Si la notion de reengineering classique est désormais considérée par la plupart comme obsolète, elle soutend néanmoins dans l'entreprise toutes les nouvelles organisations orientées métier (BPM, Workflow, Business Intelligence, ERP), qui s'intéresse à l'efficacité globale du processus.

L'approche BPM, quant à elle consiste à modéliser informatiquement les processus métiers de l'entreprise, aussi bien dans leur aspect applicatif qu'humain. L'objectif de cette démarche est d'aboutir à une meilleure vue globale de l'ensemble des processus métiers de l'entreprise et de leurs interactions afin d'être en mesure de les optimiser et, dans la mesure du possible, de les automatiser au maximum à l'aide d'applications métier.

La démarche du BPM propose une approche ascendante, dite « bottom-up », consistant à analyser le fonctionnement réel de l'entreprise afin de le modéliser informatiquement. Cette démarche constitue une rupture par rapport aux schémas généraux, dits « top-down », dans lesquels le fonctionnement de l'entreprise doit s'insérer dans un modèle proposé par l'équipe dirigeante. Un des objectifs du BPM est la réutilisabilité, c'est-à-dire la capacité à ne pas réinventer la roue à chaque changement.

La théorie de la réingénierie des processus métiers a suggéré que les entreprises pourraient devenir plus compétitifs grâce à des efforts de refonte radicale des processus. En revanche l'approche BPM préconise l'utilisation d'une méthodologie itérative permettant l'amélioration des processus. Une approche itérative et incrémentale permet des ajustements plus fréquents. L'approche BPM apparaît alors comme moins radicale et plus tolérante par rapport au BPR.

### 2.2.4 Les normes ISO 9000 : 2000 et l'approche processus

Les normes qualité, en particulier ISO 9000 : 2000 vont systématiser l'approche processus. La série de normes ISO 9000, publiées par l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), traite de la gestion de la qualité dans les organisations. Dans la première version de cette norme parue en 1987, le terme de processus ne s'appliquait qu'aux activités de production de l'entreprise et désignait une succession d'opérations conduisant à la fabrication d'un produit. En revanche dans la version actuelle parue en 2000, le terme processus rompt avec la notion initiale de gamme opératoire pour désigner tout ensemble d'activités coordonnées visant un résultat bien identifié : "toute activité utilisant des ressources et gérée de manière à permettre la transformation d'éléments d'entrée en éléments de sortie est considérée comme un processus" [MHLH05].

Sous le terme d'"approche processus", la norme préconisa d'appréhender chaque production de l'organisation comme le résultat d'un processus, considérant que la performance s'en trouvera accrue. L'une des exigences de la norme est donc de présenter les activités sous forme de processus, et non pas selon un organigramme fonctionnel. L'obtention de la certification ISO 9000 passe désormais par une cartographie des processus de l'entreprise.

L'évolution de l'environnement industriel qui poussent à être toujours plus performant, ainsi que l'introduction des méthodes d'ingénierie concurrente, ont amené les entreprises à s'intéresser à leurs processus métiers. Le management des processus et la formalisation de ces derniers permet d'identifier les activités et de les coordonner mais également de les piloter et ainsi d'en améliorer l'efficacité. Les certifications ISO et plus particulièrement ISO 9001 apparaissent d'ailleurs aujourd'hui comme une référence et témoignent d'un engagement de qualité des entreprises afin

de mieux répondre aux attentes du client.

Dans la section suivante nous apportons des définitions au terme processus et présentons des classifications que l'on retrouve dans la littérature.

## 2.3 Les processus métiers

### 2.3.1 La définition d'un processus

Les processus sont un concept présent dans de nombreux domaines et malgré les similitudes, il convient de contextualiser les définitions. Pour les domaines industriels, citons Davenport [Dav93], qui définit un processus "comme un ordonnancement des activités à travers le temps et les lieux, ayant un début et une fin, avec des entrées clairement définies". Pour Vernadat [Ver99] "Le processus est un ensemble partiellement ordonné d'étapes exécutées pour satisfaire un des besoins fixés par l'entreprise". Cette définition met en évidence la notion d'objectif lié à une finalité industrielle. Nous pouvons également citer la définition de El Mhamdi [EMLMS97] qui définit le processus comme "une combinaison d'activités, mobilisant des savoir-faire multiples, se déroulant dans le temps et étant finalisée par un objectif".

De manière plus générale, "un processus est un ensemble d'activités, entreprise dans un objectif déterminé. La responsabilité d'exécution de tout ou partie des activités par un acteur correspond à un rôle. Le déroulement du processus utilise des ressources et peut-être conditionné par des événements d'origine interne ou externe. L'agencement des activités correspond à la structure du processus." [MHLH05]. Cette définition est intéressante car elle met en évidence les principaux éléments constituant des processus : objectif, activité, rôle, ressources, événement.

**Le concept d'objectif** L'objectif d'un processus est l'expression de la mission qu'il doit accomplir. Les objectifs sur les processus résultent de la déclinaison d'objectifs tactiques et stratégiques de la direction de l'entreprise [Gal90]. Ils sont rattachés soit à la satisfaction des clients, soit à l'optimisation du système de production. Ils doivent être qualifiables et quantifiables afin de permettre la comparaison avec des indicateurs de mesure.

**Le concept d'activités** La notion d'activités est structurante car la grande majorité des processus industriels est orientée "activités". Classiquement, une activité "est un ensemble de tâches élémentaires réalisée par un individu ou un groupe, faisant appel à un savoir-faire spécifique, homogènes du point de vue coût et performance, et permettant de fournir une sortie principale" [Lor91].

Lorsque les deux termes activités et tâches sont utilisés, cela indique que la tâche est le plus petit niveau de travail à accomplir. Ainsi en présentant la gestion des activités, Gervais [Ger00] définit l'activité comme "une mission spécifique, ou un ensemble de tâches de même nature accomplies en vue de permettre un ajout de valeur à l'élaboration d'un produit".

**Le concept de rôle/acteur** L'acteur est "une personne physique, une entité organisationnelle, ou une machine qui prend part aux activités du processus" [MHLH05]. L'acteur peut-être interne ou externe à l'entreprise. En principe, les acteurs interviennent dans le cadre organisé du processus, c'est-à-dire que les activités ont été regroupées pour être confiées à un même acteur : cela correspond à la notion de rôle.

**Le concept de ressources** Une ressource est un moyen, information ou outil, utilisé par une activité. Elle est disponible pour l'activité et le reste après son exécution. Une ressource peut-être produite par une autre activité, du même processus ou d'un autre processus. A la différence d'une entrée, une ressource ne fait pas l'objet d'une transformation. L'acteur travaille sur l'entrée et s'appuie sur les ressources.

**Le concept d'évènements** Un évènement est quelque chose qui arrive et qui provoque le déclenchement d'une activité. On distingue trois types d'évènements :

- temporel : atteinte d'une échéance
- interne : décision prise par un acteur de l'organisation
- externe : provient de l'extérieur de l'organisation.

Les différents éléments des processus ont vocation à être mis en œuvre au sein du système d'information et plus particulièrement au sein du système informatique. L'entreprise fondée sur une démarche de gestion des processus métiers présente un mode de fonctionnement privilégiant la collaboration de ses employés affectés sur des enchaînement déterminés de tâches conduisant à réaliser les objectifs de la direction [Bri08] .

### 2.3.2 Classification des processus

Dans la littérature, on retrouve différentes classifications des processus qu'il convient, là aussi, de contextualiser en fonction du domaine d'activité de l'entreprise

#### Typologie des processus selon la norme ISO 9000 : 2008

La norme ISO 9000 : 2008<sup>6</sup> prend en considération le caractère unique de chaque processus dans les entreprises. Cependant ces derniers répondent à une certaine typologie (fig. 2.1) :

- *Les processus de management d'un organisme*, notamment les processus liés à la planification stratégique, à l'établissement des politiques, à la fixation des objectifs, à la mise en place de la communication, à la mise à disposition des ressources nécessaires et aux revues de direction.
- *Les processus de management des ressources*, notamment les processus requis pour la mise à disposition des ressources nécessaires pour les objectifs qualité et les résultats attendus d'un organisme.
- *Les processus de réalisation*, notamment tous les processus qui permettent de produire les résultats à fournir de l'organisme. Ils constituent le cœur de l'activité de l'entreprise et permettent de réaliser des produits ou services qui visent des clients.
- *Les processus de mesure, d'analyse et d'amélioration*, qui sont les processus nécessaires pour mesurer et recueillir les données utiles pour l'analyse des performances et l'amélioration de l'efficacité et de l'efficience. Ces processus comprennent les processus de mesure, de surveillance, d'audit, d'analyse des performances et d'amélioration (par exemple pour des actions correctives et préventives).

---

6. <http://www.iso.org>

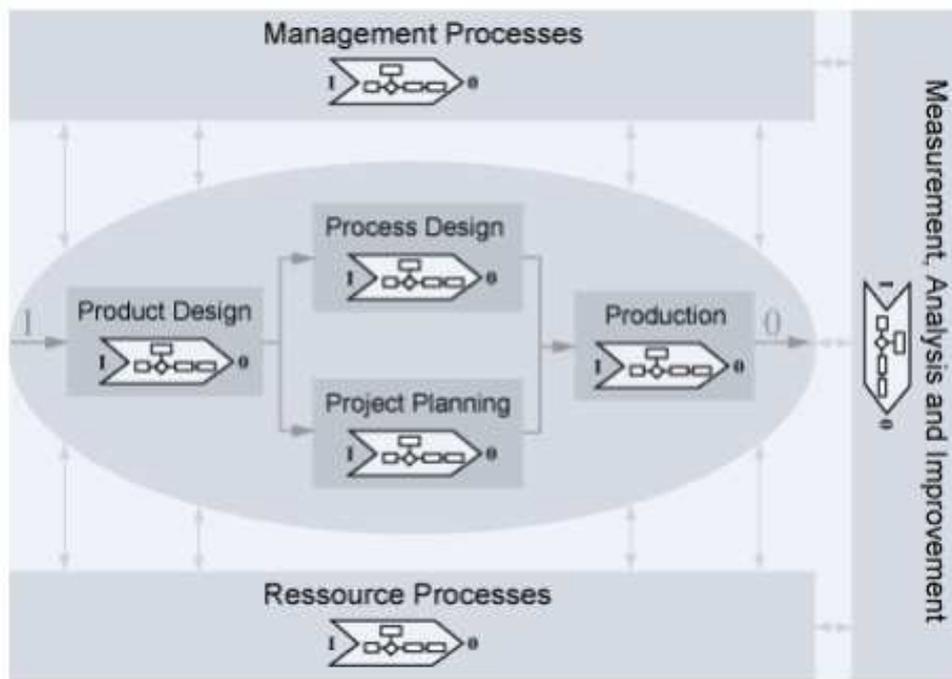


FIGURE 2.1 – Exemple de séquence de processus et de ses interactions [ISO08]

### Typologie des processus dans une perspective système d'information

La classification que l'on peut retenir dans une perspective plus particulièrement "système d'information" est également guidée par le fait que chaque catégorie sera traitée de façon particulière. Ces processus sont découpés en trois grandes catégories :

- Les processus "*principaux*", produisent un résultat qui correspond à la raison d'être de l'organisation. Dans une entreprise, ce sont eux qui génèrent de la valeur.
- Les processus "*secondaires*", produisent des résultats nécessaires pour que les processus principaux puissent s'exécuter. Ils sont sources de coût sans création directe de valeur.
- Les processus de "*pilotage*", ont pour but de contrôler l'atteinte des objectifs de l'entreprise et la mise en œuvre de sa stratégie.

### Typologie des processus pour les outils de workflow

La WfMC (Workflow management coalition)<sup>7</sup>, fondée en 1993, regroupe les éditeurs, les utilisateurs et les experts du domaine du workflow. La notion de workflow intègre les principes de la gestion des processus métiers en se concentrant toutefois sur la perspective de collaboration entre plusieurs individus chargés d'atteindre un objectif commun [Bri08] .

La WfMC distingue quatre catégories différentes de processus selon leur importance dans l'entreprise et leur caractère plus ou moins répétitif :

- les processus administratifs correspondent à des processus répétitifs et à faible valeur ajoutée. Il s'agit en général de processus administratifs internes et stables dans le temps.

7. <http://www.wfmc.org>

- *les processus ad hoc* correspondent à des processus uniques et à faible valeur ajoutée. Ils s'appuient sur la définition d'un processus générique, pouvant être adapté pour une circonstance particulière.
- *les processus de production* correspondent à des processus répétitifs à forte valeur ajoutée. Il s'agit de processus métiers mettant en œuvre une succession d'acteurs.
- *les processus collaboratif* correspondent à des processus uniques, mais à forte valeur ajoutée. Le processus peut être peu structuré, mais facilite la production de documents complexes par des acteurs ayant chacun leur spécialité.

### Typologie des processus par structuration d'activités

El Mhamdi [EMLMS97], propose une classification des processus selon leur degré de structuration des activités :

- *les processus structurés* sont caractérisés par le fort déterminisme dans l'enchaînement des activités. Ces processus "routiniers" sont ceux qui sont le plus facilement automatisable.
- *les processus semi-structurés* sont caractérisés par un faible taux de déterminisme dans le déroulement des activités.
- *les processus non structurés* sont caractérisés par une connaissance imparfaite des activités et des objectifs fixés.

Ces typologies mettent en avant deux grands types de classification des processus. Une classification en relation avec le caractère répétitif et/ou borné du processus (cf. classification de El Mahmedi) et une classification en lien avec le type d'activité (cf. classification de la norme ISO, workflow, ...). Dans notre approche, nous prenons en considération des processus à valeur ajoutée et pouvant être automatisable. Les processus pris en considération sont en lien avec la conception et le développement de pièces plastiques.

Nous allons ainsi nous appuyer sur les typologies de processus proposées par El Mhamdi [EMLMS97] et aussi par les approches de standardisation de la WfMC et de l'OMG.

## 2.4 La modélisation des processus

### 2.4.1 Objectif de la modélisation

La modélisation des processus métiers d'une entreprise consiste à représenter sa structure et son fonctionnement selon un certain point de vue et avec un certain niveau de détail dans le but d'améliorer la performance de cette entreprise. Il n'y a pas de représentation unique ou universelle d'une même réalité métier. La modélisation des processus peut répondre à différents objectifs.

- La mise en place d'une approche qualité notamment pour obtenir une certification qualité, conduit à représenter le fonctionnement de l'entreprise comme un ensemble de processus.
- Dans une perspective d'informatisation, les modèles de processus sont une base à un paramétrage de progiciel.
- La modélisation peut également être une volonté de l'entreprise pour utiliser un langage commun afin de faciliter la communication et définir un référentiel pour une gestion cohérente de l'organisation.

La méthode utilisée pour réaliser cette modélisation varie énormément en fonction du point de vue que l'on veut mettre en évidence et de l'objectif que l'on veut atteindre ainsi que, de la réutilisation que l'on veut faire de ces modèles. Dans les paragraphes suivants, nous allons présenter les différents formalismes et langages, permettant de représenter les processus, que l'on trouve dans la littérature et dans les milieux industriels.

### 2.4.2 Conception et exécution des processus

- La modélisation des processus métiers se retrouve dans trois grandes disciplines [Tud06] :
- La description des processus
  - L'analyse des processus (BPA<sup>8</sup>)
  - La gestion des processus (BPM<sup>9</sup>)

Ces domaines sont complémentaires mais sensiblement différents. La description des processus se limite à leur représentation graphique à des fins de documentation ou de communication. L'analyse des processus se focalise sur leur optimisation, leur simulation et la gestion de leurs évolutions alors que la gestion des processus couvre leur implémentation, leur exécution, leur intégration et leur synchronisation.

Comme ces domaines restent différents, les besoins en modélisation le sont également. La modélisation sera plus rigoureuse, plus détaillée pour l'un ou l'autre des aspects du processus selon le domaine. Par exemple les règles métier seront plus détaillées dans l'analyse des processus alors que l'environnement technique sera mis en avant dans la gestion des processus. Il ne faut pas perdre de vue que le BPA va demander une validation du métier tandis que le BPMg sera utilisé par les spécialistes techniques du SI.

De ces spécificités découlent deux grandes catégories de méthodologie de modélisation avec leurs langages, leurs techniques et leurs outils associés [Tud06] :

- Les méthodologies orientées conception de processus (pour le BPA),
- Les méthodologies orientées exécution de processus (pour le BPMg).

Actuellement, beaucoup de travaux sont menés pour essayer d'uniformiser ces deux familles mais sans grand succès pour le moment. Les modèles produits pour le BPA le sont en étroite collaboration avec le métier et doivent donc rester compréhensibles par celui-ci. Les modèles utilisés par le BPMg doivent être suffisamment détaillés pour qu'ils puissent être implémentés.

### 2.4.3 Les langages de modélisation

Les langages formels ou semi-formels permettent de construire les processus. Schématiquement, un langage de modélisation doit comprendre :

- Un vocabulaire – ensemble de concepts (acteurs, activité, ...)
- Une notation – représentation graphique des concepts
- Un méta-modèle – organisation des concepts entre eux

Pour être « standardisable », un langage de modélisation doit idéalement respecter certains critères [Lon04] :

- Avoir une notation intuitive pour faciliter la compréhension des diagrammes,
- Avoir un vocabulaire et un méta-modèle rigoureusement défini,

---

8. Business Process Analysis

9. Business Process Management

- Avoir une déclinaison de la notation et du méta-modèle pour chaque niveau d'analyse des processus ainsi qu'un mécanisme de navigation entre ces niveaux d'analyse (c'est-à-dire être accompagné d'une méthode de modélisation),
- Avoir un format d'échange pour permettre l'exploitation des modèles et diagrammes.

Dans les paragraphes suivants, nous allons nous présenter quelques standards pouvant être utilisés pour la modélisation des processus au sein des SI

### Les modèles IDEFx

IDEF0, Integration Definition Language 0, s'inscrit dans une famille de méthodes appelées IDEF. Deux techniques ont été élaborées [Ros77] : IDEF1 pour représenter les informations et IDEF0 pour représenter les fonctions. Ces deux techniques réunies ont été commercialisées par Softech sous le nom de SADT (Structured Analysis and Design Technique). IDEF0 a été retenue par les Etats-Unis comme standard fédéral de modélisation pour le développement de systèmes d'information.[IDE93].

Aujourd'hui, trois méthodes forment le noyau de IDEF : IDEF0 pour la définition des fonctions, IDEF3 plus particulièrement orientée vers les processus et IDEF1X pour la représentation des données. Dans la partie suivante, nous allons présenter SADT qui est souvent utilisée pour la représentation des processus.

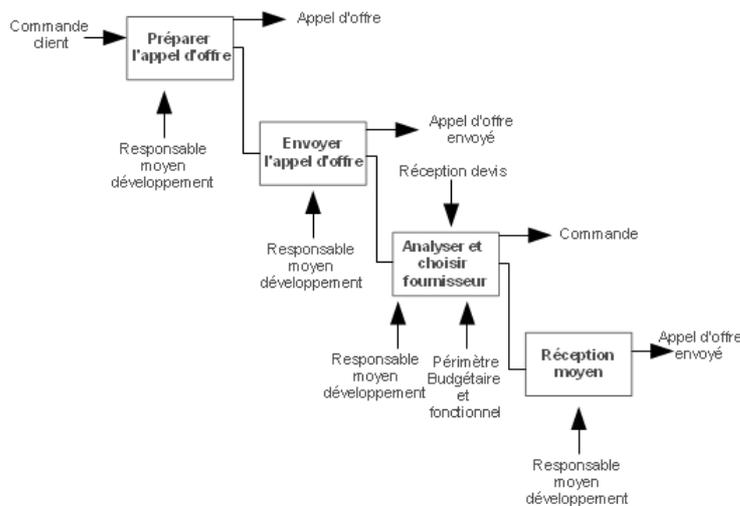


FIGURE 2.2 – Exemple d'actigramme SADT

**SADT** se compose d'une arborescence de diagrammes. Un diagramme peut être décomposé en plusieurs diagrammes "enfants", chacun correspondant au détail d'une boîte-fonction. Chaque diagramme porte un numéro de noeud, un titre et identifiant qui lui est propre. A l'exception du premier niveau, tout diagramme est rattaché à un diagramme "parent". Le diagramme de premier niveau (nommé A-0) représente le système global ; il est appelé diagramme de contexte.

SADT distingue deux types de diagrammes : les "actigrammes" et les "datagrammes" (fig. 2.3), utilisant trois formalismes principaux : les diagrammes parents, les boîtes et les flèches. Dans une analyse SADT, on peut modéliser deux types d'analyse. L'analyse par des actigrammes (boîtes d'actions) et l'analyse par des datagrammes (boîtes de données). Sur des actigrammes,

les actions sont reliées entre elles par des flux de données alors que les datagrammes se sont les données qui sont reliées entre-elles par des flux d'activités.

D'un point de vue syntaxique, un diagramme se compose de boîtes et de flèches, avec les règles de nommage précise. On distingue plusieurs types de flèches : les entrées, les sorties. Les flèches entrantes sont de trois types :

- Les entrées sont des éléments transformés ou consommés par la fonction pour produire les sorties.
- Les données de contrôle indiquent les conditions requises pour que la fonction produisent les sorties correctes.
- Les mécanismes qui représentent des moyens nécessaires à l'exécution de la fonction (logiciel, matériel, acteurs, etc.) ; il peut être hérité d'une boîte parente, c'est-à-dire du niveau de décomposition supérieur.

Les sorties représentent ce qui est produit par le système, ce sont des données ou objets. Les sorties d'un module peuvent être une entrée ou un contrôle pour un module suivant.

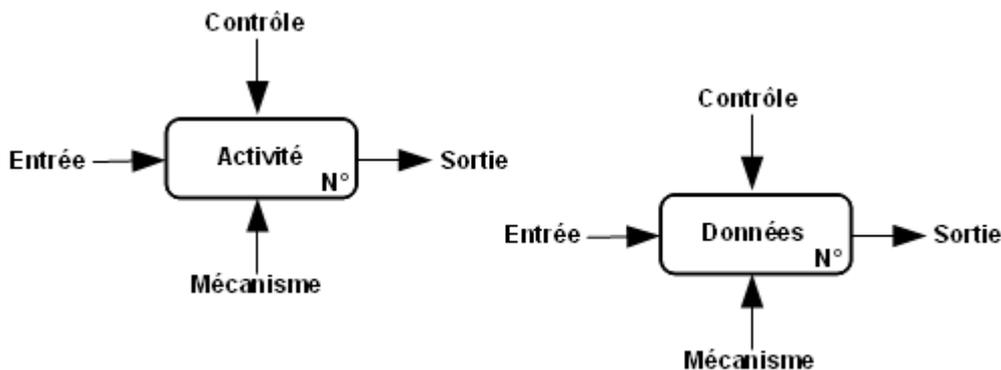


FIGURE 2.3 – Actigramme et Datagramme du formalisme SADT

**Avantages :** L'intérêt principal de la méthode est la possibilité de représenter des activités avec en plus, une approche descendante dans le niveau de granularité ce qui permet d'obtenir plusieurs vues de la même activité. Plus globalement, les autres avantages qu'il est possible de citer sont la simplicité de la méthode et la possibilité de représenter des objets manipulés par les activités. De plus, les contrôles permettent de poser des contraintes de plusieurs types sur la réalisation des activités.

**Inconvénients :** Les formalismes utilisés par SADT sont trop pauvres. Si le formalisme qui permet de représenter les activités est intéressant, on constate en contrepartie qu'on utilise les mêmes formalismes pour les datagrammes. Par conséquent, la clarté du modèle et sa lisibilité s'en ressentent quand le nombre d'entités augmentent. La représentation des ressources et des contraintes est dès lors redondante, donc source d'erreurs. De plus, SADT est une technique de modélisation qui commence un peu à dater, et elle est supplantée par d'autres méthodes, plus performante.

**IDEF3** est spécifiquement dédiée à la modélisation de processus et de workflows [MBCP95]. IDEF reprend une grande partie des formalismes d'IDEF0 et propose d'autres concepts intéressants. IDEF3 a été introduit comme méthode complémentaire à IDEF0 et non en tant que remplaçante. Les principales nouveautés résident dans l'introduction de formalismes supplémentaires au modèle fonctionnel, ainsi que l'introduction d'un nouveau modèle, le modèle des objets.

Dans IDEF3, on distingue trois composants essentiels : les schémas de processus, les schémas d'objets, les schémas étendus de transition.

**Les schémas de processus** : les schémas de processus d'IDEF3 ressemblent beaucoup aux actigrammes de IDEF0. Ils en reprennent d'ailleurs un des éléments les plus importants : les boîtes (actigrammes), qui correspondent à des activités ou des processus, avec la possibilité de décomposition des vues sur les boîtes. Dans IDEF3, une boîte est appelée "unité de comportement" (UDC). Cette dénomination est intéressante car elle permet de réunir sous le même qualificatif, une activité ou un ensemble d'activités. Les UDC sont reliées par des liens, exprimés par des flèches dont la représentation graphique varie en fonction de la contrainte sur le lien. Le lien le plus simple est représenté par une flèche simple, partant d'une UDC à une autre. D'autres types de flèches permettent d'exprimer des "contraintes de précedence" entre UDC.

IDEF3 abandonne tous les autres types de flèches indiquant les contraintes sur les activités ou les ressources allouées, ce qui a le mérite d'augmenter la lisibilité du modèle. Par ailleurs, IDEF3 introduit des symboles de contrôle de flux appelés "jonctions". Il s'agit d'opérateurs logiques classiques : AND noté "&", OR noté "O" et XOR noté "X" (fig. 2.4).

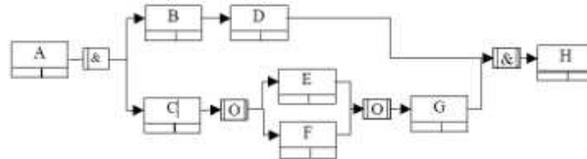


FIGURE 2.4 – Exemple de schéma de processus avec IDEF3

**Les schémas d'objets** : ces schémas constituent eux aussi une amélioration intéressante d'IDEF3 par rapport à IDEF0. Globalement, un schéma d'objet sert à représenter les différents états que peuvent prendre les objets utilisés par les UDC lors de l'exécution. Les schémas d'objets reflètent en général des scénarios et non tous les cas possibles. Il peut donc y avoir plusieurs schémas d'objets pour un même schéma de processus. Les schémas d'objets se spécialisent en deux autres types de schémas : les schémas de transition et les schémas étendus de transition. Les schémas de transition (fig. 2.5) permettent d'associer les UDC des schémas de processus aux états des objets.

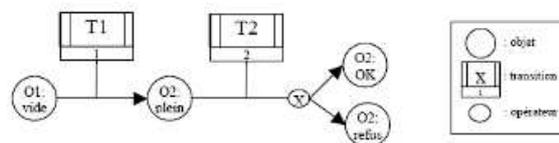


FIGURE 2.5 – Exemple de schéma de transition IDEF3

**Les schémas étendus de transition** sont des représentations plus des schémas de transition. En effet, en plus de l'état des objets et des transitions, ce schémas représentent des liens qui existent entre les objets concernés par les transitions, et entre ces objets et ceux du monde extérieur.

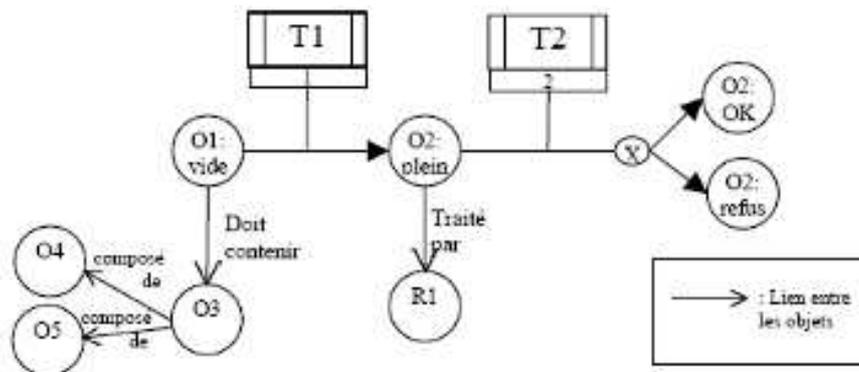


FIGURE 2.6 – Exemple de schéma étendu de transition IDEF3

**Avantages :** Le premier avantage de la méthode est la disponibilité de modèles complémentaires et bien intégrés - le schéma de processus et ceux de transition, ce qui facilite la compréhension du processus et permet d'étendre le nombre d'entités représentées. Par ailleurs les schémas de transition offrent la possibilité très intéressante de représenter les objets impliqués dans les processus ainsi que l'état qu'ils doivent prendre après chaque transition. Il est même possible, grâce aux schémas de transition étendus, de représenter des liens qui existent entre les objets des processus, ainsi que les ressources pouvant les manipuler.

**Inconvénients :** Le principal inconvénient est l'absence de la notion d'évènements. Les seuls évènements qu'il est possible de prendre en compte sont les "fins d'activités". Un autre inconvénient est l'absence de la notion fondamentale de rôle, qui n'apparaît pas clairement dans les schémas IDEF3. Bien sûr, il est possible de lier un objet manipulé par les transitions à un objet "personne" dans les schémas étendus de transition mais sans que cet objet "personne" ne corresponde nécessairement à un rôle référencé dans un autre modèle.

## UML et SysML

UML est devenu en 1997 un standard de l'OMG (Object Management Group) à la suite de la fusion de trois méthodes d'analyse orientées objet : la méthode OOD (Object Oriented Design), la méthode OMT (Object Modeling Technique) de Rumbaugh et la méthode OOSE (Object-Oriented Software Engineering) de Jacobson. En juillet 2005, la première version 2.\* de UML est validée par l'OMG. Depuis novembre 2007 la version UML 2.1.2, et travaille à présent sur la version 2.2.

UML 2 propose 13 types de diagrammes (9 en UML 1.3).

- **Les diagrammes structurels ou statiques :** diagramme de classes, diagramme d'objets, diagramme de composants, diagramme de déploiement, diagramme des paquetages, diagramme de structure composite (depuis UML 2) ;
- **Les diagrammes comportementaux :** diagramme des cas d'utilisation, diagramme états-transitions, diagramme d'activité ;
- **Les diagrammes d'interaction ou dynamiques :** diagramme de séquence, diagramme de communication (depuis UML 2), diagramme global d'interaction (depuis UML 2), diagramme de temps (depuis UML 2).

UML couvrant l'intégralité du domaine du développement objet, nous ne nous intéresserons qu'aux vues qui permettent la représentation de processus métier.

**Diagramme de cas d'utilisation (Use cases)** Il permet d'avoir une vue externe de haut niveau du système en interaction avec son environnement. On trouve les acteurs (humains ou non) qui y jouent un rôle précis. Un cas d'utilisation spécifie de façon très abstraite ce que le système fait suite à une sollicitation précise d'un acteur. Il peut y avoir un seul ou plusieurs cas d'utilisation regroupés en un paquetage. Cet ensemble décrit les objectifs du système. Du point de vue de la représentation des processus métier, il permet de modéliser les processus dits abstraits avec leurs acteurs.

**Diagramme de Séquence** Il forme, avec le diagramme de collaboration, les diagrammes d'interaction de UML. Le diagramme de séquence montre l'organisation temporelle des échanges entre les objets du système. L'axe vertical représente le temps et l'axe horizontal représente les objets qui collaborent.

**Diagramme de Collaboration** Le diagramme de collaboration permet de mettre en évidence et de formaliser les interactions entre les différents objets du système étudié.

**Diagramme d'activité** Il décrit le déroulement d'un processus formalisé le plus souvent dans un cas d'utilisation. Les activités sont représentées par des 'boîtes' reliées par des flèches de transition. On marque un début et une ou plusieurs fins. Au niveau des structures de contrôle, on trouve la décision symbolisée par un losange. Il y a aussi la barre horizontale, qui suivant si les flèches divergent ou convergent, matérialise le parallélisme ou la synchronisation.

#### Avantages

Bien que la notation UML ne soit pas spécifiquement dédiée à la modélisation des processus métiers, elle présente certains avantages. Cette notation propose une intégration des modèles entre eux ce qui permet d'obtenir plusieurs vues totalement complémentaires d'un système. UML propose "d'augmenter" la notation grâce au concept de stéréotype. Un stéréotype permet de créer de nouveaux types qu'il est possible d'ajouter au métamodèle UML.

#### Inconvénients

Le principal reproche qui peut être fait à UML est le découpage en plusieurs modèles qui, selon nous, n'est pas adaptable à l'utilisation par un expert métier. Dans notre système, nous souhaiterions que l'expert décrive les processus par le biais d'une interface unique donc, à priori, sur un seul modèle.

Le manque de spécialisation de certains éléments de la notation comme les événements ou les activités laisse à penser que certains processus métiers ne pourront pas être modélisés convenablement par ce langage. La sémantique trop faible, notamment au niveau du diagramme des activités, oblige à masquer certains aspects spécifiques des processus métiers.

Systems Modeling Language - SysML en abrégé - est un langage de modélisation spécifique au domaine de l'ingénierie système. Il permet la spécification, l'analyse, la conception, la vérification et la validation de nombreux systèmes et systèmes-de-systèmes. A l'origine, SysML a été développé dans le cadre d'un projet de spécification open source, et inclut une licence open source pour sa distribution et son utilisation. SysML se définit comme une extension d'un sous-ensemble d'UML. SysML offre aux ingénieurs systèmes plusieurs améliorations notables par rapport à UML, qui a tendance à être centré sur le logiciel. Ces améliorations sont entre autres : une sémantique plus riche et flexible, un langage plus réduit qu'UML et plus facile à apprendre et à utiliser qu'UML, ect.

SysML réutilise sept des treize diagrammes d'UML 2 et ajoute deux diagrammes spécifiques (Diagrammes de Requirements et diagrammes Paramétriques), et les tableaux d'allocations, qui peuvent être dynamiquement dérivées des diagrammes SysML.

## BPMN

BPMN (Business Process Modeling Notation) est une initiative du BPMI (Business Process Management Initiative) dont l'objectif était de définir une notation graphique partagée par tous pour modéliser les processus métiers dans le but de les analyser. BPMN décrit statiquement les processus. C'est un langage de conception des processus, pas d'exécution. Des règles de correspondance entre BPMN et BPEL (langage d'exécution de processus) existent.

BPMN n'est composé que d'un seul diagramme appelé un BPD (Business Process Diagram). L'approche est faite sur le seul plan des processus. On part des processus de plus haut niveau et on établit une sorte de hiérarchie de sous-processus pour atteindre le degré de granularité le plus fin que sont les tâches. C'est une approche dite 'top-down'. La notation est divisée en cinq catégories décrites ci-après :

**Les activités** Il y a tout d'abord les tâches, qui sont des éléments indivisibles. Du fait du principe de composition-décomposition, on trouve le sous-processus qui, quand il est dans sa forme réduite, se note comme une tâche mais en y ajoutant le symbole '+'. C'est la manière dans BPMN de définir des abstractions et de choisir la granularité de l'information représentée. D'autres spécificités peuvent être adjointes aux activités :

- la répétition de type boucle qui correspond à la forme algorithmique 'tant que' ;
- la répétition de type multi-instances correspondante à 'pour chaque' ;
- la compensation qui marque une activité associée à une autre et qui est déclenchée dans le cas d'une annulation ou de l'échec d'une transaction.

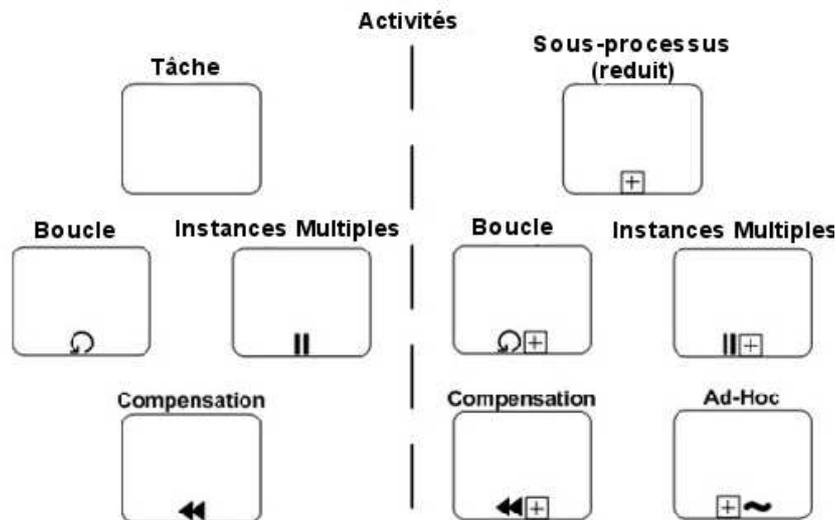


FIGURE 2.7 – Types d'activités

**Les connecteurs** Le branchement est un objet essentiel dans la norme BPMN. Il sert à représenter la condition de routage entre le(s) flux en entrée et le(s) flux en sortie. On compte trois catégories de connecteurs dans BPMN :

- les flux de séquences, représentés par un flèche continue, matérialisent l'enchaînement des activités pour réaliser le processus,
- les flux messages, représentés par une flèche en pointillées, servent à décrire les échanges entre processus,

- les associations, représentées par un trait en pointillés, servent comme support de rattachement entre une tâche et un objet de données ou avec une activité de compensation

**Les événements** La notation BPMN est riche au niveau de la spécification des événements. Elle les classe en trois catégories :

- Début : ce sont les événements reçus qui déclenchent un processus
- Intermédiaire : ils interviennent au cours du processus sans pour cela le déclencher ou le terminer.
- Fin : tous les événements qui terminent un processus ou un sous-processus. Ils sont soit une fin totale du processus soit la fin d'un sous-processus avec l'émission d'un événement vers le sous-processus suivant.

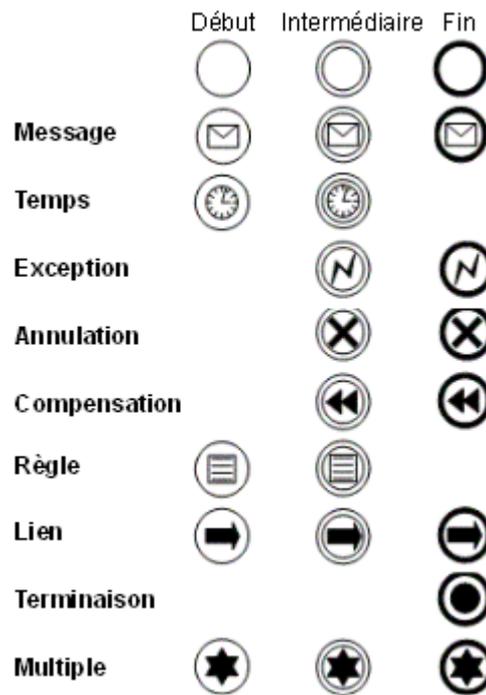


FIGURE 2.8 – Diagrammes d'évènements

Ces trois catégories sont déclinées en neuf types :

- Message : correspond aux messages échangés entre les participants.
- Temps : permet de noter des événements de type temporel (ex : après 2 heures ; tous les lundis à 9H,...).
- Exception : sert à la prise en charge d'erreurs.
- Annulation : permet de spécifier qu'une possibilité d'annulation est envisagée. On la trouve le plus souvent dans des sous-processus ayant des transactions.
- Compensation : sert à associer un sous-processus qui supprimera les modifications effectuées suite à une annulation ou à l'échec d'une transaction.

- Règle : matérialise le déclenchement d'une règle métier.
- Lien : permet de relier directement la fin d'un processus au début d'un autre généralement dans un autre BPD.
- Terminaison : indique que l'on a atteint la fin complète du processus.
- Multiple : est utilisé pour indiquer que plusieurs événements de types différents peuvent intervenir en produisant les mêmes effets.

**Les artefacts** Ce sont des notations supplémentaires qui permettent de rajouter des informations complémentaires servant à améliorer la compréhension du processus modélisé. Les objets de données sont particulièrement intéressants puis qu'ils donnent la possibilité de matérialiser des objets qui sont utilisés et modifiés par le processus. Ce sont des documents (électroniques ou non), des données ou d'autres objets qui peuvent être associés à un flux de séquence, mais aussi, en entrée ou en sortie d'une activité à l'aide d'une association directionnelle.

**Les couloirs d'activités** On retrouve ici le même principe que dans les diagrammes d'activités d'UML qui consiste à utiliser des couloirs pour montrer les responsabilités de chaque acteur dans le processus.

BPMN offre une notation qui couvre plus correctement les besoins en modélisation de processus métier qu'UML. Les avancées au niveau de la spécialisation des événements, des structures de contrôle et de la prise en considérations de phénomènes comme les annulations et les compensations font de BPMN la notation la plus spécialisée dans ce domaine.

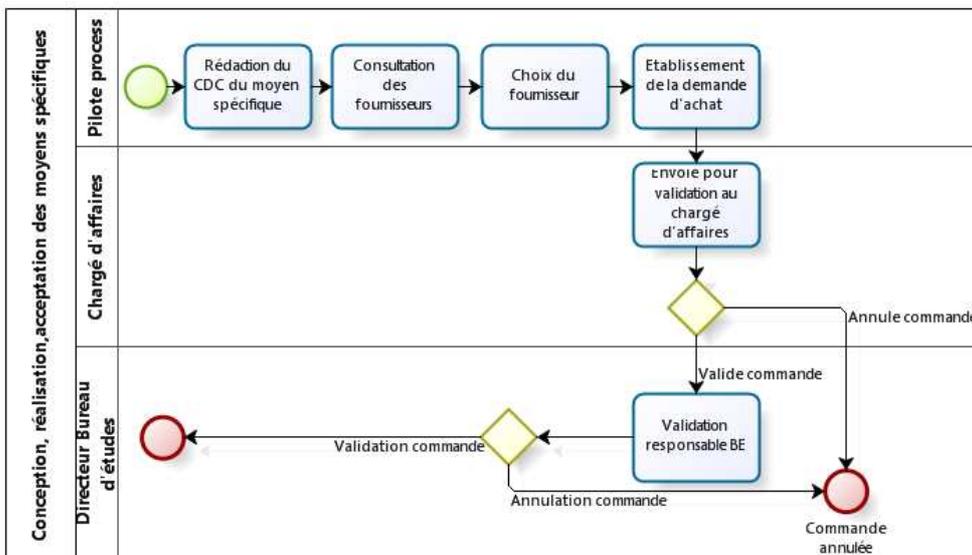


FIGURE 2.9 – Processus de validation d'une commande

La figure (fig. 2.9) reprend l'ensemble des activités et des ressources nécessaires à la réalisation de ce processus.

### Avantages

La gamme de diagrammes peu étendue, permet aux experts métier d'acquérir rapidement ce langage de modélisation. Son plus grand avantage se situe au niveau de la spécialisation des activités et des événements. BPMN répond aux besoins de modélisation des processus métiers

actuels basés sur le workflow ou contenant des transactions comme c'est le cas pour le commerce électronique (Business to Business, Business to Consumer,...).

### **Inconvénients**

La notation BPMN a le défaut de ses qualités, elle est simple. Les objets sont élémentaires. Si cette apparence est habituelle aux informaticiens (UML...), elle conviendra moins aux directions métiers en termes de modélisation et de communication sur les processus. L'autre défaut d'une telle notation concerne le nombre d'objets limités qui ne permet pas de représenter précisément un processus manipulant des données complexes et fortement corrélés.

## **2.5 L'évaluation des processus**

Pour pouvoir être amélioré et pour pouvoir juger de ces améliorations, les processus d'une entreprise doivent être évalués à l'aide de mesures objectives : on ne peut améliorer que ce que l'on sait mesurer, on ne peut évaluer la progression qu'en la mesurant.

Dans le cadre plus spécifique de nos travaux qui correspond aux processus de développement des produits, on constate que ces processus peuvent être soumis à des perturbations. Les risques induits par ces perturbations peuvent être considérables. Le développement d'un nouveau produit est une activité coûteuse, à la fois en termes de charge de travail et de moyens financiers mobilisés. Selon la norme AFNOR (2004), lors de la phase de conception, 70 à 80 % du coût du produit est engagé. Il faut donc faire en sorte que le processus de développement soit efficient. Il est connu que la modification d'un produit, réalisée au niveau de la conception, coûte bien moins cher que la même modification effectuée pendant la fabrication ou, pire encore, lors du montage ou de l'exploitation du produit.

Au vu de ces aspects, le déroulement de ce processus doit être suivi. Pour une vision complète sur le déroulement, l'évolution et le résultat du processus, il est nécessaire de développer des outils capables de caractériser le processus de conception à un moment donné et/ou de réaliser l'évaluation de ses performances. Ces outils sont basés sur l'interprétation d'une série d'indicateurs de performance.

### **2.5.1 Pilotage par les indicateurs de performance**

Les indicateurs de performance, sont considérés comme des "instruments" du pilotage. Ils s'inscrivent dans une philosophie d'amélioration continue telle qu'elle a été introduite par Deming [Ima92]. La "roue de Deming" se base sur l'exécution répétitive des principes suivants : "Préparer - Faire - Vérifier - Réagir".

Les indicateurs vérifient l'adéquation de la mesure des résultats atteints aux objectifs espérés. Cette évaluation intervient comme une aide à la réaction, c'est à dire au pilotage. C'est donc le pilotage qui met en avant l'intérêt de la mesure et de l'évaluation, et par conséquent celui de l'indicateur [Ber97].

Les mesures fournies par les indicateurs ont un usage différent selon le pilotage initié. Les indicateurs peuvent avoir pour vocation de "surveiller-contrôler" la conformité et de mesurer les écarts par rapport à des normes préétablies, ou d'aider à choisir une action de pilotage. L'action se situe à court terme, à partir des mesures directement exploitables (consommation de matières, rebuts, ...).

Lorsque les indicateurs ont pour vocation de "piloter-agir", les actions se situent sur les moyen et long termes, elles sont enclenchées par des indicateurs synthétiques (par exemple, la qualité des produits, le rendement d'une ressource).

Souvent, la notion de pilotage identifie l'ensemble des actions "correctives" à mener lors de l'occurrence d'un évènement. Nous différencions trois types de pilotage :

- **Le pilotage opérationnel** correspond souvent à la régulation d'un procédé ou d'un processus - généralement répétitif ou du moins bien connu - par rapport à une norme préétablie. Ni les objectifs, ni les façons de faire sont remis en cause. On parle à ce niveau de commande (dépannage ponctuel suite à l'occurrence d'une panne machine par exemple).
- **Le pilotage tactique** consiste en l'adaptation des ressources (financières, techniques, humaines et de temps) existantes au vu de l'état constaté. Les objectifs, exprimés en terme de quantité, coût, qualité, délai, ne sont pas remis en cause. Des exemples caractéristiques d'adaptation sont la programmation d'une maintenance préventive suite à des pannes machines répétées.
- **Le pilotage stratégique** a pour rôle de veiller à corriger les éventuelles dérives au regard des objectifs stratégiques. Les décisions prises peuvent être remis en cause au même titre que les objectifs que les ressources allouées (par exemple la décision d'investir dans l'achat de nouveaux équipement suite à une usure constaté).

De nombreuses définitions des indicateurs de performance ont été données. La plus couramment admise de nos jours en France est celle donnée par l'Association Française de Gestion Industrielle [AFG92] :

"Un **indicateur de performance** est une donnée quantifiée qui mesure l'efficacité et/ou l'efficience de tout ou partie d'un processus ou d'un système (réel ou simulé), par rapport à une norme, un plan ou un objectif déterminé et accepté dans le cadre d'une stratégie d'entreprise."

Cette définition met en avant plusieurs aspects importants de l'indicateur de performance. La première notion mise en relief est l'aspect quantifié d'un indicateur [LDN97], [Ber97], [Bit90] : c'est une mesure (parfois indirecte) qui sous entend généralement une recherche d'information à des niveaux plus ou moins élevés du système. Une deuxième notion sous-jacente de l'indicateur de performance concerne l'objectif. Cet aspect fondamental, se fait toujours par comparaison à une référence. En effet, le but principal d'une évaluation des performances d'un système est de mesurer l'écart entre les performances réelles et les performances souhaitées, et de juger le caractère plus ou moins acceptable de cet écart.

### 2.5.2 Typologie des indicateurs de performance

On trouve dans les travaux de Berrah [Ber97], une proposition de modélisation de l'indicateur de performance. Le modèle intègre en trois facettes les différentes étapes de calcul de la performance.

- la facette mesure concernant la mesure de réalisation des objectifs. il convient de spécifier le domaine d'analyse puis la réalisation de l'objectif à atteindre.
- la facette évaluation concernant l'évaluation de la mesure. Le rôle de l'évaluation va être d'assigner une valeur *bonne* ou *mauvaise*, *meilleur* ou *pire* au résultat.
- la facette interprétation concernant l'interprétation de la mesure. Il convient de vérifier la validation de la mesure et remise en cause de l'objectif, en fonction des connaissances et de l'expertise de l'utilisateur.

Même s'ils sont initialement réalisés pour des processus de production, les indicateurs de performance peuvent être utilisé dans le cadre de processus métiers structurés. Dans ce cas, ils peuvent être déclinés en deux fonctions complémentaires :

- une fonction "prospective" qui analyse l'évolution des processus,
- une fonction "rétrospective" qui analyse le résultat de l'évolution des processus.

Dans un système de pilotage, la fonctionnalité des indicateurs dépend de leur "positionnement" par rapport à l'action et au pouvoir de décision que l'on peut classer comme suit [Ber00a] :

- les indicateurs de reporting et de pilotage,
- les indicateurs simples et complexes,
- les indicateurs de performance et de contre-performance,
- les indicateurs de performance interne ou externe,

Dans notre contribution de la partie 2, nous utiliserons la typologie la plus couramment utilisée, à savoir les indicateurs de processus et les indicateurs de résultats.

- Les indicateurs de résultat ont une vocation rétrospective. Ils touchent aux objectifs et recouvrent l'aspect du système de production lié aux états. Un indicateur de résultat arrive trop tard pour l'action, ne permettant que de constater le degré d'atteinte des objectifs. En cas de non performance, de tels indicateurs n'indiquent ni la source des problèmes, ni les solutions à y apporter. Il prend en compte les aspects à la fois quantitatifs et qualitatifs.
- Les indicateurs de processus indiquent comment le processus évolue. Ils ont une vocation prospective. Un indicateur de processus est "un clignotant appelant un acte décisif lorsqu'il s'allume, autrement dit lorsqu'un écart est enregistré entre la réalité mesurée et l'objectif" [SZ07]. Cette typologie permet :
  - d'expliquer les performances affichées par les indicateurs de résultat,
  - de distinguer deux unités ayant des résultats identiques mais des fonctionnements différents,
  - d'anticiper les résultats à venir, en signalant la moindre dérive.

Les indicateurs de résultats servent essentiellement à contrôler, alors que les indicateurs de processus sont utilisés pour l'optimisation. Ces deux types d'indicateur sont indispensables à la performance de l'entreprise. Leur évaluation opérationnelle est caractéristique de la performance. Elles permettent aussi de connaître plus tôt, les dérives de cette dernière.

## 2.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous proposons une étude de l'ingénierie des processus. A ce titre, nous avons d'abord étudié les concepts relatifs au processus, puis nous avons fait une étude des différents formalismes existants dans la littérature.

Notre objectif de modélisation se décompose en deux phases : la première phase concerne la modélisation des processus par un expert métier. la seconde phase est réalisée par le concepteur du SI qui s'appuie sur la modélisation du processus pour en déduire le modèle de données. Ainsi, pour choisir le formalisme approprié, nous avons retenu plusieurs critères :

- une facilité de prise en main. En effet, le modèle étant réalisé à l'aide d'un expert métier, le formalisme de représentation choisi doit être facilement compréhensible par les autres acteurs du projet.
- une capacité descriptive suffisante. La granularité détaillée du processus doit pouvoir être formalisée.
- une modélisation orientée objet car la plupart des systèmes PLM sont conçus sur des modèles orientés objet.

Compte tenu des différents critères, deux formalismes de représentation des processus ont été retenus : BPMN pour sa facilité de prise en main ainsi que sa spécialisation des activités et des événements et UML car ce formalisme répond à nos besoins de formalisation orientée objet.



# 3

## Formalisation des connaissances métiers

### Sommaire

---

<b>3.1</b>	<b>Introduction</b>	<b>51</b>
<b>3.2</b>	<b>Les concepts de la gestion des connaissances</b>	<b>52</b>
3.2.1	Définition de la connaissance	52
3.2.2	Typologie des connaissances	53
3.2.3	Modèle de transfert des connaissances	54
3.2.4	Cycle de capitalisation des connaissances	55
3.2.5	Les mémoires d'entreprise	56
<b>3.3</b>	<b>Méthodologie de capitalisation des connaissances</b>	<b>57</b>
3.3.1	La méthode KOD	57
3.3.2	La méthode Common KADS	58
3.3.3	La méthode MKSM	60
<b>3.4</b>	<b>Quelques formalismes de représentation des connaissances</b>	<b>62</b>
3.4.1	La logique des prédicats	62
3.4.2	Les réseaux sémantiques et les graphes conceptuels	63
3.4.3	Les ontologies	63
<b>3.5</b>	<b>Les systèmes basés sur la connaissance</b>	<b>65</b>
3.5.1	CharGer	65
3.5.2	Cogitant	66
<b>3.6</b>	<b>L'évaluation de la robustesse des connaissances</b>	<b>67</b>
<b>3.7</b>	<b>Conclusion</b>	<b>68</b>

---

### 3.1 Introduction

La connaissance est un objet à plusieurs facettes qui revêt une signification différente suivant la communauté qui y fait référence. Au delà de ces définitions, la connaissance est un objet vivant que la communauté de l'ingénierie de la connaissance manipule afin de la localiser, de la stocker, de l'exploiter et d'en évaluer sa qualité. Le but de ce chapitre est de :

- montrer les différents aspects de la connaissance grâce aux définitions données par la communauté de l'ingénierie de la connaissance et par les différents cycles de vie de la connaissance,

- fournir une vision des outils permettant de manipuler cette connaissance, en partant d'un point de vue méthodologique vers un point de vue informatique.

La première partie de ce chapitre introduit donc la définition de la connaissance et la manière dont cette connaissance évolue. Puis la connaissance est placée dans le contexte de l'entreprise. Il s'agit de définir les différentes formes que cette connaissance peut prendre et les différentes méthodologies employées pour la préserver. La seconde partie présente les différents langages utilisés pour formaliser et manipuler la connaissance au sein des systèmes informatiques.

## 3.2 Les concepts de la gestion des connaissances

### 3.2.1 Définition de la connaissance

Donnée, information, connaissance, voici trois termes proches, fréquemment employés dans le même contexte, parfois pour désigner la même chose. Pourtant, ces termes recouvrent des réalités très différentes. Les données peuvent être vues comme des faits, des opinions et des prédictions non organisées collectées depuis de multiples sources provenant de l'entreprise mais également de l'extérieur de l'entreprise [GTF95]. Elles sont les reflets symboliques des nombres, quantités, grandeurs ou faits ou encore des déclarations ou des faits. Elles sont du matériel brut qui ne prend sens qu'après avoir été utilisé [MDOO98].

Par définition, une donnée est donc un élément brut qui n'a pas encore été interprété, mise en contexte [Bal02]. Les informations sont des données qui ont été interprétées et qui ont un sens pour les personnes ayant interprétées ces données, ou dont il est possible d'extraire une signification. Les informations sont donc la matière première de la connaissance.

En fait, la connaissance naît de la compréhension des relations qui peuvent exister entre plusieurs données. On peut considérer la connaissance comme une information comprise, c'est-à-dire assimilée et utilisée, qui permet d'aboutir à une action.

Pour illustrer nos propos, prenons les exemples suivants :

- « 28°C » est une donnée brute en dehors de tout contexte.
- « La température de demain sera de 28°C à Montpellier » est une information contextualisée.
- « il faut s'habiller en fonction de la température » est une connaissance simple qui va permettre au détenteur de celle-ci d'interpréter et de s'habiller en conséquence.

Nous venons de voir que la connaissance naît de la compréhension des relations qui peuvent exister entre plusieurs données. On peut considérer la connaissance comme une information comprise, c'est-à-dire assimilée et utilisée, qui permet d'aboutir à une action. Reprenons l'exemple précédent à propos de la température : « Il fera 28°C demain Montpellier ». Cette information nous permet de savoir qu'il va faire chaud demain, et nous allons nous habiller en conséquence. La compréhension du modèle température-vêtement permet, au détenteur de cette connaissance, d'interpréter de s'habiller en conséquence. La connaissance est ce que les gens savent [Dav97] et résulte de l'utilisation d'informations [WCH00].

La connaissance peut prendre plusieurs formes et son utilisation fait intervenir les données et les informations. Pour formaliser les différences entre donnée, information, connaissance, on peut opter pour un modèle à deux dimensions [Bal02]. Une première dimension représente l'indépendance de l'entité au contexte et une deuxième dimension est relative à la compréhension (fig. 3.1).

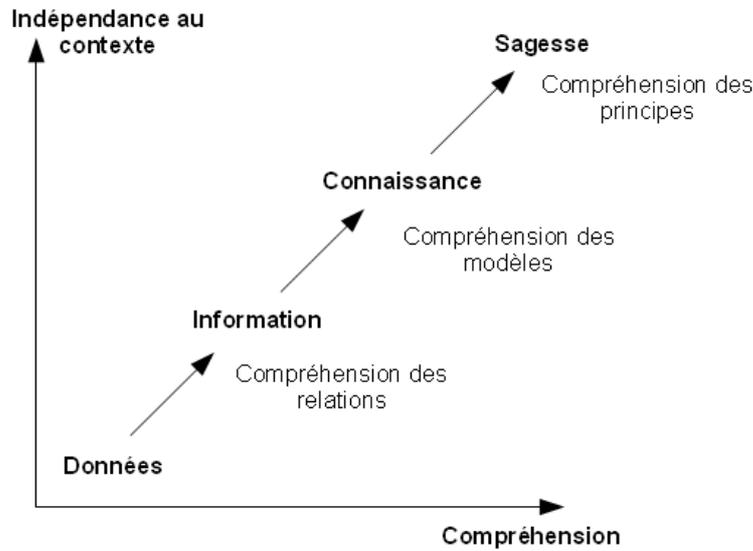


FIGURE 3.1 – Le cycle donnée - information - connaissance

### 3.2.2 Typologie des connaissances

En s'appuyant sur les travaux de Polanyi [Pol66], Nonaka [Non94] distingue deux types de connaissances : les connaissances tacites et les connaissances explicites (fig. 3.2).

	Connaissance tacite	Connaissance explicite
Nature	Subjective	Objective
Localisation	Dans le cerveau des individus	Répartie dans l'entreprise (bases de données, bases documentaires, etc.)
Forme	Non formalisée	Documents électroniques ou physiques
Transmission	Difficile	Facile
Mode de création	Acquise par la pratique, l'expérience	Transmise par échange de documents
		Interprétation d'information et formalisation de connaissance tacite

FIGURE 3.2 – Tableau comparatif connaissance tacite / connaissance explicite

**La connaissance tacite.** C'est la connaissance que possèdent les individus. Elle n'est pas formalisée et difficilement transmissible. Ce sont les compétences, les expériences, l'intuition, les secrets de métiers, les tours de mains qu'un individu a acquis et échangés lors de relations à l'intérieur et à l'extérieur de son organisation.

**La connaissance explicite.** Elle correspond à la connaissance formalisée et transmissible sous forme de documents réutilisables. Elle est constituée des informations concernant les processus (manuel de procédures), les projets, les clients, les fournisseurs, la conception, etc.. En d'autres termes, ce sont les documents qui peuvent être capturés (collectés et/ou numérisés) et partagés par un système d'information.

### 3.2.3 Modèle de transfert des connaissances

Nonaka distingue quatre modes de conservation des connaissances sur lesquels il fonde sa théorie de la création des connaissances dans une organisation, comme le présente la figure (fig. 3.3) :

**La socialisation : tacite vers tacite.** La socialisation représente le processus de transmission de connaissances tacites. Il s'agit donc de transmettre des modèles mentaux ou des compétences techniques. Cette transmission peut très bien se faire sans échanges verbaux. En effet, la transmission d'un tour de main s'effectue généralement par l'observation, l'imitation et surtout la pratique. Comme le souligne Nonaka, la clé pour acquérir une connaissance tacite, c'est l'expérience.

**L'externalisation : tacite vers explicite.** L'externalisation est un processus qui permet le passage de connaissances tacites en connaissances explicites, sous la forme de concepts, modèles ou hypothèses. La modélisation d'un concept est très souvent déclenchée par le dialogue et l'échange avec d'autres individus.

**L'internalisation : explicite vers tacite.** L'internalisation est le processus de conversion de connaissances explicites en connaissances tacites. L'internalisation est proche de l'apprentissage par l'action.

**La combinaison : explicite vers explicite.** La combinaison est un processus de création de connaissances explicites à partir de la restructuration d'un ensemble de connaissances explicites acquises par différents canaux de communication. Elle se fait par exemple à l'occasion d'échanges téléphoniques ou de réunions. Le principe du brainstorming repose sur ce processus de combinaison.

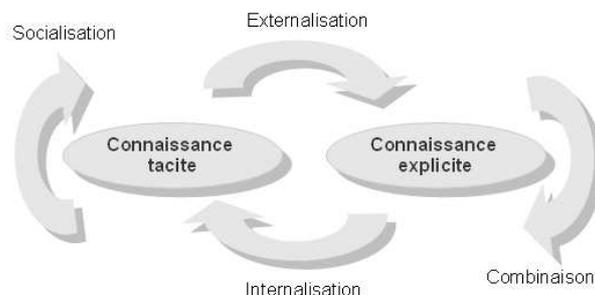


FIGURE 3.3 – Modèle de transfert des connaissances

### 3.2.4 Cycle de capitalisation des connaissances

La capitalisation des connaissances dans les organisations peut se définir comme une démarche dont les objectifs sont le développement et la pérennité d'une connaissance collective dont la valeur ajoutée est supérieure à la somme de la valeur ajoutée des connaissances individuelles des collaborateurs de cette organisation. Capitaliser des connaissances implique la constitution d'un capital qui sera ensuite valorisé. Celui-ci représente le patrimoine intellectuel de l'entreprise qui permet la réutilisation des savoirs, des savoir-faire et des compétences développées au cours du temps [BGT05].

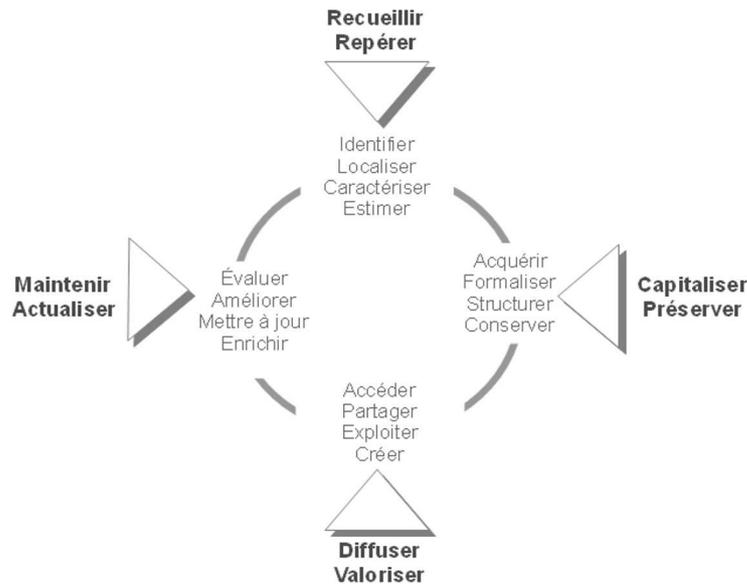


FIGURE 3.4 – Modèle de Grundstein : cycle de capitalisation des connaissances dans l'entreprise

Le cycle des connaissances proposé par Grundstein [GB96] (fig. 3.4) en 1996 est composé de quatre tâches principales :

**Repérer les connaissances stratégiques.** Cette première tâche consiste à identifier, à localiser et à hiérarchiser les connaissances strictement nécessaires au déroulement des processus qui constituent le cœur des activités. Ces connaissances doivent être hiérarchisées en fonction des objectifs de réutilisation, de pérennité, et de leur niveau de criticité par rapport au processus de définition de solutions en cours.

**Préserver les connaissances.** Pour préserver les connaissances, il faut les acquérir, les modéliser, les formaliser, et les conserver. Les connaissances sont stockées soit sous forme d'informations textuelles, soit des représentations selon des formalismes. Certaines connaissances ne seront jamais retenues sur une base : les connaissances tacites nécessitent un apprentissage par usage ou par démonstration et par conséquent nécessitent l'intervention de compétences humaines.

**Valoriser les connaissances.** Pour valoriser les connaissances, elles doivent être accessibles selon des règles de confidentialité et de sécurité, diffuser et exploiter.

**Actualiser les connaissances.** Les connaissances doivent être mises à jour et enrichies par de nouvelles connaissances.

### 3.2.5 Les mémoires d'entreprise

La connaissance dans l'entreprise rentre dans le cadre plus large de la mémoire d'entreprise. Van Heijst [VHVDSK96] définit la mémoire d'entreprise comme la représentation explicite désincarnée et persistante de l'information et de la connaissance d'une entreprise. Elle constitue également les ressources de l'entreprise, sous forme de connaissances et de données collectives [NPP96]. Les mémoires d'entreprise se proposent de conserver les connaissances de l'entreprise. Ces connaissances peuvent porter sur des éléments divers manipulés dans le cadre de l'activité de l'entreprise tels que les produits, les clients, les stratégies marketing, le retour d'expérience sur les projets, l'expertise issue de ces projets.

La mémoire d'entreprise peut prendre également plusieurs formes telles que des bases de données, des documents électroniques, des bréviaires de connaissance, des rapports, des fiches descriptives. . . Le but et l'existence de mémoire d'entreprise est de préserver, en vue d'une réutilisation ultérieure ou plus rapide, des connaissances, raisonnements et comportements, mais avec leurs contradictions et toute leur variété [Pom96].

La mémoire d'entreprise peut prendre plusieurs formes.

**La mémoire d'entreprise sous forme non informatisée.** Elle regroupe des mémoires simples qui peuvent être une mémoire non-informatisée, une base de documents, une base de connaissances ou une base de cas [DCGR98]. Ces documents proviennent de l'application de diverses méthodes. La méthode CYGMA [Bou97] permet de créer des documents qui contiennent la mémoire de l'entreprise relative à une profession. La méthode MEREX [Cor97] offre une approche qualité basée sur les retours positifs et négatifs d'anciens projets. Il s'agit d'obtenir des documents de synthèse, permettant d'explicitier les connaissances de l'entreprise provenant du savoir faire des experts, qui n'apparaissait pas de manière explicite dans les rapports ou dans les documentations techniques.

**La mémoire d'entreprise sous forme d'une base de documents.** Elle consiste à donner l'accès aux utilisateurs à un ensemble de documents générés durant l'activité de l'entreprise. Ces documents peuvent être des documents collectifs à l'entreprise ou des documents personnels appartenant aux experts de l'entreprise. La construction de cette base de documents consiste à numériser les documents non informatisés, à les regrouper aux documents déjà sous forme numérisée.

**La mémoire d'entreprise sous forme de base de connaissances.** La connaissance sous forme explicite, que l'on peut obtenir des experts ou des documents de l'entreprise est transformée sous forme plus explicite. Modélisées grâce à des formalismes de représentation de la connaissance, les connaissances sont stockées dans une base de connaissances. Ces connaissances sont ensuite exploitées par un moteur d'inférence. Le but est de résoudre automatiquement un problème, comme le proposait les systèmes experts de première génération. Il s'agit également de fournir des informations aux utilisateurs, qui bénéficient grâce à l'utilisation de la base de connaissances d'informations complémentaires permettant de remettre dans le contexte les résultats obtenus, d'interpréter et d'évaluer ces informations, en fonction de ce contexte. Des méthodes d'ingénierie des connaissances, telles que CommonKADS [SAA<sup>+</sup>99] permettent d'obtenir des modèles de connaissances qui sont ensuite intégrés au sein des systèmes basés sur la connaissance.

**La mémoire d'entreprise sous forme de base de cas.** Elle contient un ensemble d'expériences du passé de l'entreprise. Cette collection contient à la fois les expériences positives et négatives, issues de la pratique et de l'expérience des experts. Ces bases de cas sont ensuite exploitées grâce à des techniques de raisonnement à partir de cas [SG95]. Le cas auquel est confronté l'utilisateur est alors décrit suivant le même formalisme que les cas de la base. Les nouveaux cas sont insérés dans la base au fur et à mesure afin de prendre en compte les nouveaux cas de figure et les variantes d'expériences passées.

## 3.3 Méthodologie de capitalisation des connaissances

Les méthodologies issues de l'ingénierie des connaissances ont pour objectif « d'assister le professionnel dans la production d'une connaissance explicite, diffusable, réutilisable, évolutive, venant enrichir une mémoire organisationnelle » [Pra00]. Ainsi, elles procèdent toutes par recueil des connaissances auprès du professionnel, c'est-à-dire par interview. Même si elles ont été conçues à d'autres fins, elles ont pour résultat, intermédiaire ou final, de formaliser, sous des formes différentes [CD03], les connaissances, les rendant ainsi « visibles ». Le mécanisme de la formalisation comporte deux grandes étapes :

- Dans un premier temps, il y a acquisition, recueil des connaissances auprès du détenteur initial
- Dans un second temps, les connaissances acquises, sont véritablement formalisées.

On peut trouver dans la littérature plusieurs méthodologies. Plusieurs d'entre elles sont décrites dans DIENG [DCG<sup>+</sup>01].

Nous présentons ici les méthodologies dont les modes de représentation des connaissances reposent sur des modèles de connaissance.

### 3.3.1 La méthode KOD

La méthode KOD (Knowledge Oriented Design) a été créée dans les années 1980 par Vogel [Vog88] [Vog90]. KOD fournit une méthodologie dont le but est de créer un système basé sur la connaissance. Elle utilise une approche ascendante qui consiste à recueillir le maximum de données verbales auprès d'un expert et à les regrouper pour former un modèle. Le principe est de modéliser une connaissance en se fondant sur trois modèles : le modèle pratique, le modèle cognitif et le modèle informatique. Ces trois modèles sont constitués par l'utilisation de trois points de vue : l'être, le faire et le dire. Le modèle pratique permet d'obtenir les éléments de base constituant la connaissance. Ces éléments sont ensuite utilisés et organisés dans le modèle cognitif. Le modèle informatique intervient en dernier et utilise les deux premiers modèles afin de permettre la réalisation d'un système basé sur la connaissance.

Cette méthode préconise une démarche par laquelle l'auditeur interviewe les personnes et va interpréter leur discours afin de modéliser une spécification de l'expertise qui rassemble :

- Les domaines de compétence
- Les phases de mise en oeuvre de l'expertise
- Les termes utilisés dans le domaine d'expertise (le jargon)
- Les schémas mentaux d'action de l'expert qui lui permettent de répondre efficacement à un problème rencontré
- Les inférences utilisées (ou schémas d'interprétation d'une situation)

La méthodologie propose deux phases de modélisation et une phase d'utilisation des modèles générés lors des phases de modélisation :

- La modélisation pratique consiste à réaliser des entretiens. Ces entretiens servent de base pour réaliser une analyse textuelle et valider le corpus (ensemble de documents). L'ana-

lyse textuelle va conduire à identifier les taxèmes (objets manipulés par l'expert pouvant entrer dans une classification), les actèmes (éléments décrivant tout ce qui concourt à un changement d'état) et les schémènes (manifestations verbales des schémas). Une fois ces éléments identifiés, il faut conduire un entretien qui vise à valider cette première extraction de connaissance représentée par le modèle pratique.

- La deuxième phase consiste à réaliser la modélisation cognitive. Elle consiste à réaliser de nouveaux entretiens basés sur l'étude de cas. A partir de la transcription de ces entretiens, il convient de créer les taxinomies (données = arborescence de classe), les actinomies (traitements = séquences d'actions) et les schémas (règles = si <capteurs mal branchés> alors <baisse de tension> faire <envoyer équipe> :<vérifier poste> :<vérifier robinets>). Un entretien de validation est alors effectué pour vérifier la validation des modèles cognitifs créés.
- La dernière phase de la méthodologie consiste à utiliser les modèles pratiques et cognitifs issus de l'étape précédente afin de définir les aspects finaux du système basé sur la connaissance. On pourra par exemple choisir durant cette étape les logiciels et outils à utiliser pour passer des modèles conceptuels des connaissances à un modèle opérationnel. Les taxinomies représentent une hiérarchie des éléments du monde physique manipulés par l'expert. Les actinomies représentent la hiérarchie des schémas d'action utilisés par l'expert pour résoudre des problèmes. Les schémas d'interprétation et de conduite fournissent les règles permettant d'interpréter le monde réel ainsi que les contraintes liées à l'utilisation de ces règles. Les taxèmes sont les objets du monde physique manipulés par l'expert durant une tâche. Ils changent d'état en fonction des actèmes qui leur sont appliqués. Les schémènes représentent les inférences ou les contraintes que l'expert met en oeuvre en choisissant et appliquant les actions sur les objets du monde réel.

### 3.3.2 La méthode Common KADS

La méthodologie KADS (Knowledge Acquisition and Design System) est née en 1985 dans le cadre du programme européen Esprit I. Ce projet est lancé par quatre chercheurs : Anne Brooking du KBSC, South Bank Polytechnic (Royaume-Uni), Breuker et Wielinga de l'Université d'Amsterdam et Rogers du CEC, dans le cadre d'un projet ESPRIT, KADS. Le projet est reconduit en 1990, sous le nom de KADS II, dans le cadre du programme européen Esprit II. La méthodologie est améliorée dans le but d'en faire un standard commercial, notamment en Europe. On nomme désormais cette méthodologie CommonKADS.

CommonKADS [SAA<sup>+</sup>99] repose sur les principes suivants :

- L'ingénieur de la connaissance doit construire le modèle global de connaissance en prenant en compte les différents aspects de la connaissance humaine.
- Durant la phase de modélisation, l'attention doit se porter en premier sur le modèle conceptuel de la connaissance et ne pas prendre en compte tout de suite les problèmes liés à l'opérationnalisation du système.
- La connaissance peut être définie par différents types de connaissance et rôles pour ces connaissances.

L'utilisation de la méthodologie CommonKADS doit permettre la constitution d'un ensemble de modèles qui font parties intégrantes du projet visant à construire un système basé sur la connaissance. CommonKADS fournit une bibliothèque de modèles prédéfinis qui peuvent être modifiés et configurés pour correspondre aux besoins du projet. Enfin, le nombre de modèles et leur niveau de granularité peut s'adapter au projet de capitalisation.

La méthodologie CommonKADS proposent six modèles pour analyser la connaissance comme le présente la figure (fig. 3.5) :

### 3.3. Méthodologie de capitalisation des connaissances

- Le modèle d’organisation permet de décrire l’organisation dans laquelle le système basé sur la connaissance est utilisé. Le modèle de l’organisation supporte l’analyse des facettes majeures de l’organisation afin de découvrir les problèmes et les possibilités de solutions par des systèmes à base de connaissance. Il permet de déterminer la faisabilité de ces solutions et d’évaluer leur impact sur l’organisation. Lorsque la faisabilité d’un système à base de connaissance a été établie, la deuxième étape est de construire les modèles de tâches et d’agents.
- Le modèle des tâches permet de décrire les tâches et leurs répartitions, les entrées et sorties, les conditions préalables et les critères d’exécution, en tant que ressources et compétences nécessaires pour le système [SAA<sup>+</sup>99]. Une tâche se décrit par : ses entrées requises, ses sorties désirées, les ressources qu’elle utilise, les connaissances et les compétences qu’elle requiert pour être exécutée, et celles qu’elle génère.
- Le modèle des agents décrit les caractéristiques des agents, en particulier leurs compétences, leur autorité pour agir et les contraintes à cet égard. En outre, il énumère les liaisons entre les agents effectuant une tâche [SAA<sup>+</sup>99]. Il ne prend pas en compte seulement l’aspect humain, mais l’aspect agent au sens large c’est-à-dire les systèmes informatiques et le système basé sur la connaissance.
- Le modèle de communication permet de décrire les interactions effectuées par les agents pour réaliser leurs tâches.
- Le modèle d’expertise permet de décrire les connaissances exploitées par le système basé sur la connaissance pour résoudre les problèmes. Il explique en détail les types, les structures et les rôles de la connaissance. CommonKADS utilisant une approche descendante, le modèle d’expertise est créé à partir d’un ensemble d’éléments génériques.
- Le modèle de conception fait le lien entre les modèles conceptuels (tâche, expertise, agent, communication) et le modèle opérationnel du système. Il spécifie la manière de représenter et construire le module logiciel ainsi que les mécanismes informatiques requis pour implanter les fonctionnalités établies dans le modèle de connaissance et le modèle de communication.

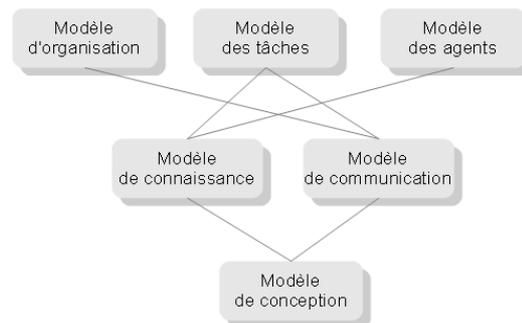


FIGURE 3.5 – Modèle Common KADS

CommonKADS propose enfin un cycle de projet en spirale pour la gestion des projets de capitalisation des connaissances. Ce cycle en spirale se décompose en quatre étapes :

- L’étape de revue qui consiste à analyser l’état du projet. En fonction de cet état, les prochaines tâches pour le prochain cycle sont établies.
- L’étape d’évaluation des risques permet d’identifier les risques et de les décrire. Il faut ensuite établir des mesures pour permettre d’éviter ces risques.

- La planification utilise le résultat des étapes précédentes afin de déterminer les tâches globales du projet, ensuite de les assigner aux acteurs du projet et d'établir un planning pour ces tâches.
- La supervision a pour but de mettre en place l'évaluation, ainsi que la supervision des tâches mises en place durant les étapes précédentes.

### 3.3.3 La méthode MKSM

La méthode MKSM [ECB<sup>+</sup>96] (Methodology for Knowledge System Management) propose d'utiliser un macroscopie servant de cadre à l'analyse du patrimoine de connaissances de l'entreprise. Ce macroscopie (fig. 3.6) repose sur un triangle systémique et sémiotique.

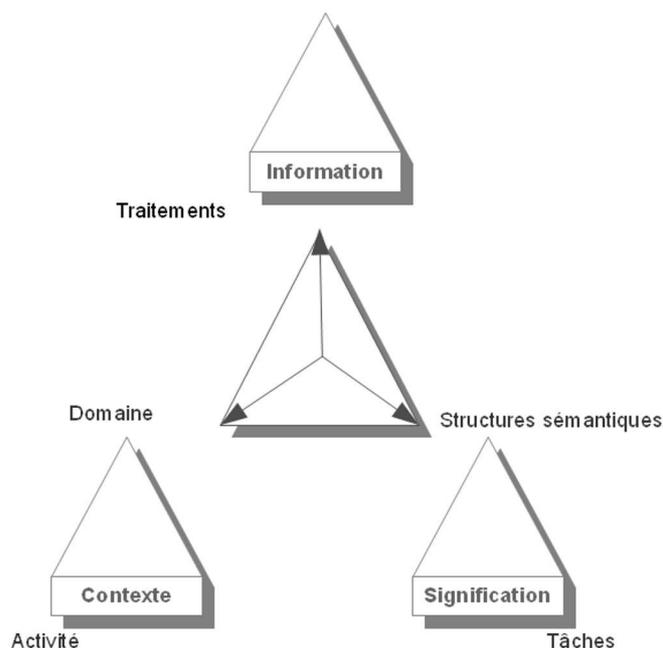


FIGURE 3.6 – Le macroscopie de la connaissance [ECB<sup>+</sup>96]

Deux hypothèses sont à la base de la définition de la connaissance dans MKSM :

- *L'hypothèse sémiotique* : la connaissance est un signe qui contient de l'Information, du Sens et du Contexte.  
« Représenter la connaissance, c'est donc représenter cette information, avec le ou les sens qui lui sont attachés et le ou les contextes dans lesquels ses sens peuvent être compris. »<sup>10</sup> Exemple : « Prenons un exemple simple, pour décrire la connaissance autour d'une recette de pâte pâtissière. L'information peut être représentée classiquement sous forme des données et des traitements mis en œuvre : les données sont les ingrédients nécessaires à la réalisation de la recette : le nombre de kg de farines, d'œufs, le type de beurre utilisé, la température du four ... les traitements correspondent aux procédures de réalisation : gestion des stocks de provisions, conduite du four de cuisson, actions diverses de réalisation

10. J-L Ermine, [www.mcxapc.org/docs/ateliers/ksav.htm](http://www.mcxapc.org/docs/ateliers/ksav.htm)

de la recette ... » ERMINE.

- *L'hypothèse systémique* : la connaissance est un système global avec trois points de vue : la Structure, la Fonction et l'Evolution. Trois points de vue systémiques sont utilisés pour analyser le problème. Le point de vue ontologique analyse le système comme une structure. Le point de vue phénoménologique analyse le système selon sa fonction. Enfin, le dernier point de vue analyse le système selon un point de vue génétique, c'est-à-dire se focalisant sur l'évolution du système au cours du temps. Partant de ces deux hypothèses, MKSM propose de décrire la connaissance à travers des modèles, apportant chacun un point de vue complémentaire sur le même patrimoine de connaissances.

On retrouve également ici trois points de vue sémiotiques. Le patrimoine peut être analysé selon les signes qu'il émet, c'est-à-dire le niveau syntaxique. Le niveau sémantique s'attache à analyser le signifiant du patrimoine de connaissances. Enfin, le niveau pragmatique permet d'analyser le signifié ou la désignation des choses. Le microscope combine les deux triangles et permet d'analyser le patrimoine selon six des neuf points de vue utilisable du fait de la combinaison. Ces points de vue sont utilisés pour créer différents modèles représentant le patrimoine de connaissances :

- Le modèle de domaine doit permettre la description de l'aspect structurel du domaine de la connaissance. Il s'agit de décrire sous forme de processus, les phénomènes fondamentaux qui doivent être maîtrisés dans le cadre de l'activité des experts.
- Le modèle de l'activité représente les activités en terme d'entrées, de sorties, de ressources et d'acteurs. Il s'agit d'une analyse de l'activité du système qui produit ou utilise les connaissances, et cherche à replacer les connaissances du domaine (décrites ci-dessus dans les processus) dans le cadre d'une utilisation opérationnelle.
- Le modèle des concepts représente l'aspect "statique" de la connaissance. Il rassemble un ensemble de concepts. Un concept représente un ensemble d'objets partageant des propriétés communes. Ces propriétés sont représentées par des attributs.
- Le modèle des tâches décrit la connaissance dynamique. C'est une représentation de la stratégie mise en œuvre pour résoudre le ou les problèmes qui sont posés dans le système de connaissances considéré. Les tâches, utilisées dans un schéma d'ordonnancement, sont soit des tâches terminales, soit des tâches décomposables.

Les phases qui ont été détaillées ci-dessus constituent le cœur de la méthode MKSM. Elles font partie de ce qu'on peut appeler le cycle de modélisation. Elles ont pour but d'aider à maîtriser la complexité d'un système de connaissances dans les points de vue contextuels et cognitifs définis par le microscope de la connaissance. Un projet MKSM est donc organisé autour du cycle de modélisation. Il est fortement conseillé de suivre ce cycle dans l'ordre des modèles tel qu'il a été décrit ci-dessus. Il induit donc un cycle de vie d'un projet MKSM.

Le cycle de vie utilisé pour la gestion des connaissances se décompose en trois étapes principales :

- La phase de cadrage permet de désigner les acteurs qui participeront au projet, ainsi que les modèles sur lesquels les efforts se porteront particulièrement, en fonction des spécificités du projet.
- La phase de modélisation comporte une phase de recueil à partir d'entretien d'experts ou de la collecte de documents. Les modèles sont ensuite réalisés et vérifiés avant d'être réunis dans un livre de connaissances.
- La phase d'obtention du schéma d'orientation de gestion des connaissances se place à un niveau stratégique et tactique. Cette phase permet d'obtenir les objectifs liés à la gestion

du patrimoine de connaissances, ainsi que les différents projets pouvant découler de ces objectifs. A partir de ceci, les risques qui en découlent sont étudiés dans le but de fournir un outil d'aide à la décision pour le projet de gestion du patrimoine de connaissances.

La méthode MKSM a évolué pour devenir la méthode MASK [Erm01], [Erm03]. L'ensemble des modèles construits est réuni dans un document qu'on appelle le Livre de Connaissances du domaine. Il capitalise et diffuse un ensemble de connaissances sur un domaine, et fournit un point de départ indispensable à tout projet opérationnel de traitement de ces connaissances.

La méthode MASK intègre notamment un modèle d'historique et un modèle de lignée afin de prendre en compte l'évolution des connaissances au cours du temps.

## 3.4 Quelques formalismes de représentation des connaissances

La représentation des connaissances est à la fois une fonction technique et utilitaire. Il s'agit d'un moyen pour exprimer de façon modulaire et structurée des connaissances. Ces formalismes permettent de manipuler la connaissance au moyen d'outils informatiques. Les formalismes présentés sont la logique des prédicats, les réseaux sémantiques et graphes conceptuels, ainsi que les ontologies.

### 3.4.1 La logique des prédicats

La logique des prédicats [Her04] peut être utilisée pour représenter la connaissance sous la forme de faits et règles à partir desquels il est possible de vérifier des assertions, ces assertions représentant de nouvelles connaissances pouvant être déduites de celles déjà modélisées.

L'alphabet de la logique des prédicats est constitué d'un ensemble dénombrable de symboles de prédicat dont la valeur est 0 ou 1, d'un ensemble dénombrable de variables, d'un ensemble de fonction à 0, 1, . . . , n arguments, des quantificateurs  $\forall$  (quelques soit),  $\exists$  (il existe), et des connecteurs logiques  $\neg$  (négation),  $\wedge$  (conjonction),  $\vee$  (disjonction),  $\longrightarrow$  (implication).

A partir de ces symboles il est possible d'écrire un ensemble de formules bien formées en respectant les règles si dessous. L'ensemble des termes de la logique des prédicats est le plus petit ensemble de mots construits sur l'alphabet de logique des prédicats tel que toute variable est un terme et  $f(t_1, \dots, t_n)$  est un terme si  $f$  est une fonction à n arguments et  $t_1, \dots, t_n$  sont des termes. Si  $p$  est un prédicat à n arguments et  $t_1, \dots, t_n$  sont des termes alors  $p(t_1, \dots, t_n)$  est une formule atomique.

L'ensemble des formules bien formées de la logique propositionnelle est le plus petit ensemble de mots construits sur l'alphabet. Ces formules bien formées sont ensuite interprétées afin de calculer leurs valeurs suivant la valeur de leurs variables. La connaissance est représentée alors sous forme de faits et de règles. Les faits sont représentés par un ensemble de fonction s'appliquant sur un ensemble de termes. Chaque terme représente un objet et les fonctions représentent les propriétés sur les objets.

Les règles sont une implication d'une formule vers une autre formule. A partir de ces règles, il est possible d'effectuer des inférences sur les faits afin d'en déduire de nouvelles connaissances.

### 3.4.2 Les réseaux sémantiques et les graphes conceptuels

Les réseaux sémantiques ont été développés pour un objectif de traitement des langues naturelles [MP97]. Il existe de nombreux modèles pour ce type de représentation : les modèles inspirés par la logique, ceux inspirés par les sciences humaines et ceux utilisés de manière spécifique en informatique. Dans son ouvrage, Zingle [Zin99] repris par Villemin [Vil98] précise qu'il s'agit au départ d'un formalisme destiné à représenter des connaissances quel que soit le domaine à modéliser.

Les graphes conceptuels [Sow84] sont un formalisme de représentation de la connaissance dérivé des réseaux sémantiques [Qui68]. Ce formalisme s'appuie sur une représentation graphique tout en ayant une sémantique. La sémantique des graphes conceptuels est basée sur la logique des prédicats du premier ordre. Un graphe conceptuel [Sow01] est décrit par un ensemble d'éléments : les concepts, les relations conceptuelles, les  $\lambda$ -expressions, les types de concept, les types de relation, les référents, les contextes, les ensembles de coréférence. Un graphe conceptuel  $g$  est un graphe connexe, bipartite et étiqueté, composé de deux types de nœuds respectivement nœud concept et nœud relation conceptuelle. Le modèle des graphes conceptuels est décomposé en deux parties.

- Le niveau terminologique, qui comprend la définition du vocabulaire conceptuel du domaine visé (le support) et des connaissances générales sur ce domaine en termes de définitions, contraintes ou règles.
- Le niveau assertionnel, qui comprend des graphes étiquetés dédiés à la représentation de faits. Ces graphes sont construits à partir du vocabulaire conceptuel du niveau terminologique.

### 3.4.3 Les ontologies

Les ontologies jouent un rôle central dans les systèmes à base de connaissances. Les différentes méthodologies présentées précédemment (cf sec. 3.3) possèdent toutes une partie dédiée à la représentation des connaissances ontologiques (pare exemple le modèle de concepts pour MKSM, etc.). L'ontologie est un point de convergence de ces différentes méthodologies de capitalisation : dans la plupart des méthodologies de capitalisation, les connaissances ontologiques sont souvent formalisées au travers de modèles relativement élémentaires [Tix01].

#### Définition et développement des ontologies

Le terme ontologie est apparu dans le domaine informatique grâce notamment au projet ARPA Knowledge Sharing Effort [Gru91]. Ce terme, hérité d'une tradition philosophique qui s'intéresse à la science de l'Être, est un terme grec composé des mots «ontos» et «logos» qui veulent dire l'essence de l'être.

La première définition pour les ontologies dans le domaine de l'intelligence artificielle (IA) est donnée par Gruber : « une ontologie est une spécification explicite d'une conceptualisation. Le terme est emprunté de la philosophie, où l'ontologie est un ensemble de choses existantes. Pour les systèmes d'IA, ce qui existe est ce qui peut être représenté. » [Gru94]. D'autres définitions ont été proposées. On retient de toutes ces définitions qu'une ontologie représente un vocabulaire commun. Ce vocabulaire définit le sens des concepts et les relations entre ces concepts et peut être associé à un modèle qui décrit le contenu d'une base de connaissances, ses propriétés, la manière dont elle peut être utilisée ainsi que la syntaxe et les contraintes fournis par le langage de représentation.

L'objectif d'une ontologie est d'assurer la spécification explicite des connaissances au niveau conceptuel et cela à l'aide d'un langage formel qui offre une sémantique et qui permet une

utilisation non ambiguë des connaissances.

Pour mieux comprendre ce qu'est une ontologie, on peut faire une comparaison entre un vocabulaire contrôlé, une taxonomie, un thésaurus et une ontologie. Un vocabulaire contrôlé est un ensemble de termes reconnus, fixés, inaltérables, normalisés et validés par un groupe, une taxonomie est une collection de termes de vocabulaire contrôlé organisé en une structure hiérarchique. Chaque terme est dans une ou plusieurs relations parent-enfant à d'autres termes dans la taxonomie. D'un vocabulaire contrôlé, on passe à un vocabulaire organisé (taxonomie). Un thésaurus est une collection de termes de vocabulaire contrôlé sous forme de réseau. Cela signifie que dans un thésaurus on peut trouver autres relations que les relations parent-enfant trouvées dans une taxonomie. Un thésaurus ou même une taxonomie sont des formes d'ontologie dont la grammaire (les règles pour limiter la façon d'utiliser les termes de vocabulaire pour exprimer des choses de significatives) n'a pas été formalisée. Une ontologie correspond donc à un vocabulaire contrôlé et organisé et à la formalisation explicite des relations créées entre les différents termes du vocabulaire.

### Les composants d'une ontologie

Toutes les définitions d'une ontologie informatique s'accordent sur le fait qu'une ontologie est formée par des concepts et des relations entre ceux-ci et qu'elle se réfère à un domaine. Ainsi, une ontologie peut être vue comme un treillis de concepts et de relations entre ces concepts destinés à représenter les objets du monde sous une forme compréhensible aussi bien par les hommes que par les machines. Si, certaines divergences relatives à la structure de l'ontologie ont été constatées, les composants d'une ontologie sont toujours les mêmes : une ontologie est constituée des concepts et des relations ainsi que des propriétés et des axiomes.

- Les concepts : permettent la description d'une tâche, d'une fonction, d'une action, d'une stratégie ou d'un processus de raisonnement, etc. Ils peuvent être abstraits ou concrets, élémentaires ou composés, réels ou fictifs. Habituellement, les concepts sont organisés en taxonomie (on rappelle qu'une taxonomie est une hiérarchie de concepts reliés entre eux en fonction de critères sémantiques particuliers)
- Les relations : sont les liens qui organisent les concepts de façon à représenter un type d'interaction entre les concepts d'un domaine. Des exemples de relations binaires sont : sous-concept-de, connecté-à, sorte-de, etc.
- Les propriétés (ou attributs) sont des restrictions des concepts ou des relations.
- Les fonctions sont des cas particuliers de relations dans lesquelles le nième élément de la relation est unique pour les n-1 précédents. Comme exemple de fonction binaire, nous avons la fonction mèrede.
- Les axiomes de l'ontologie permettent de définir la sémantique des termes (classes, relations), leurs propriétés et toutes contraintes quant à leur interprétation. Ils sont définis à l'aide de formules bien formées de la logique du premier ordre en utilisant les prédicats de l'ontologie.
- Les instances sont utilisées pour représenter des éléments.

### L'utilité des ontologies

Les ontologies permettent de rendre différents services, tels que la définition d'un vocabulaire permettant de formuler des savoirs, la spécification plus ou moins formelle du sens des termes et des relations entre termes. Charlet [Cha02] présente un résumé sur l'utilité des ontologies dans plusieurs domaine :

- Les connaissances du domaine d'un système à base de connaissances (SBC) : la première utilité d'une ontologie était liée à une volonté de réutilisation. L'ontologie servit à la représentation des connaissances du domaine pour un SBC. Elle sert de squelette à la représentation des connaissances du domaine dans puisqu'elle décrit les objets, leurs propriétés

- et la façon dont ils peuvent se combiner pour constituer des connaissances du domaine.
- La communication : Deux cas se présentent : la communication entre humains, les ontologies peuvent servir, à créer au sein d'un groupe ou d'une entreprise un « vocabulaire » standardisé. On est dans le cadre d'une ontologie informelle. Dans le cas de la communication entre êtres humains et ordinateurs, l'ontologie est formelle et sert en général une tâche précise dans le SBC ou le système d'information.
  - L'aide à la spécification de systèmes : comme pour les SBC mais au niveau du système d'information, l'ontologie fournit une liste classifiée des objets que doit manipuler le système : c'est le référentiel du système d'information. Une volonté de réutilisabilité, présente déjà dans les SBC, sous-tend l'utilisation des ontologies dans le cadre des systèmes d'information.
  - L'interopérabilité : est une spécialisation de la communication, dans ce cas vue entre deux ordinateurs. L'ontologie répertorie les concepts que des applications peuvent s'échanger même si elles sont distantes et développées sur des bases différentes. Cette interopérabilité est l'interopérabilité sémantique qui s'appuie d'abord sur une interopérabilité syntaxique.
  - L'indexation et la recherche d'information : Plus récemment, les travaux autour du Web sémantique ont réactivé la problématique et l'utilisation des ontologies : en sus d'un rôle de médiateur, les ontologies y sont utilisées pour l'indexation, fournissant les index conceptuels décrivant les ressources sur le Web.

#### La représentation des connaissances par les ontologies

Une formalisation partielle, respectant l'intégrité du modèle conceptuel, va permettre, à cette étape, de construire l'ontologie proprement dite. L'ontologisation doit mener à la construction de hiérarchies de concepts, de relations.

Parmi les langages de représentation développés au niveau conceptuel, trois grands modèles sont distingués : les langages à base de frame, les logiques de description et le modèle des graphes conceptuels.

## 3.5 Les systèmes basés sur la connaissance

À l'issue de l'utilisation des méthodologies de capitalisation des connaissances, un certain nombre de modèles conceptuels des connaissances de l'entreprise sont produits. Il s'agit ensuite d'opérationnaliser ces modèles pour permettre leur exploitation par des outils informatiques dédiés. Les connaissances sont donc stockées dans des bases de connaissances qui sont ensuite exploitées par des systèmes basés sur la connaissance. La base de connaissances contient les éléments extraits, connus et formalisés provenant du domaine de connaissance étudié et provenant du patrimoine de connaissances de l'entreprise. Différents langages de représentation peuvent être utilisés (cf sec. 3.4). Les bases connaissances sont exploitées par des outils qui offrent une architecture modulaire qui sépare les connaissances des traitements qui leur sont appliqués.

### 3.5.1 CharGer

CharGer [Del01] est un éditeur de graphe conceptuel permettant notamment de créer des représentations visuelles de ces graphes. L'éditeur est capable de sauver et de charger les graphes conceptuels dans un format XML. Il permet également d'exporter les graphes conceptuels sous plusieurs formats, en CGIF, OPENCG... pour l'export d'autres systèmes basés sur la connaissance, en GIF, PNG, SVG... pour l'utilisation dans des applications graphiques.

L'interface offre plusieurs vues lors de l'édition des graphes conceptuels. La vue principale correspond à la vue graphique permettant d'éditer le graphe conceptuel, mais l'éditeur offre

la possibilité d'afficher les graphes conceptuels en CGIF, en XML et en langage naturel. Il est possible de représenter les concepts, les relations, les hiérarchies de type et de relation. Il est également possible de créer des contextes, des contextes négatifs et des graphes imbriqués. La notion d'acteur est également présente. Les acteurs permettent de faire des traitements en fonction de leur nature et des concepts liés en entrée. CharGer fournit des opérateurs de comparaisons, des opérateurs mathématiques, des opérateurs de manipulation de données. L'acteur dbfind permet notamment d'accéder à une base de données et d'extraire en fonction d'un concept fourni en entrée le champ correspondant dans la base de données.

Les utilisateurs peuvent s'appuyer sur l'outil d'exploration de base de données pour déterminer les paramètres adéquats pour l'acteur dbfind. Il est possible d'étendre les possibilités en acteur de CharGer en programmant une classe java respectant une interface spécifique et représentant le comportement d'un nouvel acteur.

CharGer permet enfin d'effectuer des opérations sur les graphes conceptuels. L'opération de jointure permet de joindre en fonction d'un ensemble de noeuds sélectionnés deux ou plusieurs graphes conceptuels. Le résultat crée un nouveau graphe conceptuel. L'opération d'appariement permet de comparer le graphe actuel aux autres graphes chargés dans l'éditeur. Le résultat s'affiche soit sous la forme d'un message d'erreur si aucun graphe ne satisfait les contraintes d'appariement soit sous la forme d'une nouvelle fenêtre contenant le graphe satisfaisant ces contraintes. Les contraintes sont définies selon un degré de faible vers forte, sur divers paramètres. Ces paramètres portent sur les différents éléments d'un graphe conceptuel, c'est-à-dire les concepts, les relations, les liens entre ces éléments et la façon de les définir.

### 3.5.2 Cogitant

Cogitant [GS98] fournit une bibliothèque écrite en C++ permettant de manipuler des graphes conceptuels. Cette bibliothèque peut être utilisée pour créer des outils gérant les graphes conceptuels. La bibliothèque sépare la gestion du support, des graphes conceptuels et des règles :

- Le support regroupe l'ensemble des types de concept, des types de relation, des types d'emboîtement et l'ensemble des marqueurs individuels. L'ensemble des types sont partiellement ordonnés par l'utilisateur d'une relation « sorte-de ». La gestion du support fournit les opérations permettant de créer les nouveaux éléments du support, d'optimiser la structure du support et d'accéder en lecture à ces éléments dans le but d'interpréter un graphe conceptuel.
- La partie de la bibliothèque gérant les graphes conceptuels permet de représenter des graphes conceptuels emboîtés typés. Les opérations fournies permettent d'ajouter et de supprimer des noeuds et des liens dans un graphe conceptuel. Ces opérations respectent la sémantique des graphes conceptuels c'est-à-dire qu'une opération ne sera pas appliquée si elle conduit à la création d'un graphe conceptuel non-valide. La bibliothèque fournit également des opérations d'accès permettant de parcourir la structure du graphe.
- La bibliothèque Cogitant gère également les règles. Les règles prennent la forme de deux graphes conceptuels, l'un jouant le rôle d'hypothèse, l'autre jouant le rôle de conclusion, liés par un ensemble de points d'attache. La construction d'une règle s'effectue en créant d'abord le graphe conceptuel d'hypothèse et le graphe conceptuel de conclusion. La construction se termine par la création des points d'attache liant ces deux graphes conceptuels.

Les règles peuvent être ensuite utilisées de deux manières. La première opération permet, en fonction d'un graphe conceptuel et d'une règle, de déterminer les applications possibles de cette règle. Les applications sont déterminées par la possibilité de faire une projection de l'hypothèse dans le graphe conceptuel analysé. Les deux opérations gèrent l'application de la règle. En fonction des projections possibles de l'hypothèse, le graphe conceptuel source est modifié pour prendre en compte la conclusion de la règle.

A partir de ces trois éléments (support, graphes conceptuels et règles) constituant un environnement de travail, la bibliothèque fournit un ensemble d'opérations sur les graphes conceptuels. Ces opérations permettent de déterminer les composantes connexes d'un graphe conceptuel, de calculer la somme disjointe de deux graphes, de réaliser des calculs de projection utilisés par exemple lors de l'application des règles, d'appliquer les règles et d'effectuer des opérations d'entrée/sortie sur les éléments de l'environnement de travail.

Cette bibliothèque Cogitant est utilisée dans le serveur Cogitant. Suivant une architecture du type client-serveur, le serveur Cogitant permet la création et la manipulation de graphes conceptuels de manière distribuée.

Le serveur charge au démarrage un ensemble de fichiers en utilisant les opérations d'entrée-sortie de la bibliothèque. Ces fichiers représentent des supports, des graphes conceptuels et des règles et constituent l'environnement de travail du serveur. Le client peut alors recevoir les ordres provenant de l'utilisateur visant à manipuler les graphes conceptuels.

Le client transmet ces ordres au serveur qui vérifie leurs validités et les applique grâce aux opérations fournies par la bibliothèque. Le résultat de ces opérations est alors retransmis sur serveur vers le client afin de fournir les indications adéquates à l'utilisateur.

La bibliothèque fournit les opérations d'entrée/sortie sur trois formats de représentation :

- Le format CoGXML permet de représenter les graphes conceptuels selon le formalisme XML. Un fichier DTD est fourni représentant la grammaire qu'un fichier CoGXML doit respecter.
- Le format BCGCT (Base de Connaissances Graphes Conceptuels Textuelle) permet de représenter sous forme textuelle plus lisible les graphes conceptuels, les supports et les règles.
- Le format THC permet de représenter sous une forme compacte un thésaurus, c'est-à-dire les types de concepts et les types de relations.

## 3.6 L'évaluation de la robustesse des connaissances

Dans la littérature, on retrouve plusieurs définitions de la robustesse [GVHTT00], [HK98] [Bar06].

Groot [GVHTT00] propose d'évaluer la robustesse des systèmes à base de connaissances (KBS). Il définit la robustesse des KBS comme la manière dont la qualité des réponses fournies par de tels systèmes est fonction de la dégradation de la qualité des entrées effectuées sur ces systèmes. Pour cela, il quantifie la qualité des réponses en fonction de deux mesures, la précision des réponses et l'exhaustivité des réponses.

Dans le cadre des bases de données relationnelles, [HK98] définit la robustesse d'une connaissance, découverte à partir de l'état de bases de données, comme la probabilité qu'une connaissance soit valide par rapport à un état de la base de données (BD). Les connaissances, exprimées sous forme de règles, permettent par exemple de modifier les requêtes des utilisateurs afin de réduire les temps d'exécution.

De manière plus formelle, Hsu [HK98] définit la robustesse de ces connaissances et plus particulièrement des règles d'expert, comme la robustesse par rapport à tous les états de la base de données.

Dans le cadre de l'évaluation d'une base de connaissance, Barcikowski [Bar06] propose une définition basée sur deux aspects : la robustesse temporelle et la robustesse contextuelle.

### La robustesse temporelle

La robustesse temporelle correspond à la capacité de la base de connaissance à résister aux évolutions du domaine. En effet, l'évolution de l'environnement technique, économique et social

modifie certains savoirs et savoir faire. La base de connaissance est construite suivant un état des connaissances , représentées par des documents ou par les connaissances des experts. Mais après cette étape de modélisation, les connaissances du domaine continuent à évoluer, par des phénomènes de mise à jour, ou d'innovation.

Selon Barcikowski [Bar06], une modification du domaine devrait idéalement se traduire par un changement dans la base de connaissance. Malheureusement, la mise en place d'une telle dynamique n'est pas toujours possible. Il peut être en effet difficile de détecter les modifications des connaissances.

#### **La robustesse contextuelle**

La robustesse contextuelle correspond à la capacité de la base de connaissance, à fournir les bonnes réponses aux questions posées par les différents utilisateurs. On entend par "bonnes réponses" des réponses de qualité qui satisfassent des indicateurs d'exhaustivité, de cohérence, de consistance et de précision. Le but est d'obtenir toutes les réponses possibles (d'exhaustivité), qui restent cependant correcte par rapport à la question posée (consistance). Nous souhaitons aussi éviter les réponses contradictoires (cohérence) et les réponses parasites (précision).

Une base de connaissances robuste permet, quelque soit le contexte d'utilisation, de maintenir la qualité des réponses fournies à la cible. La dimension temporelle n'intervient pas ici, c'est-à-dire que les performances passées ne présument pas des performances présentes ou futures. D'autre part, l'évaluation de la robustesse contextuelle ne s'effectue que sur l'état actuel de la base de connaissances et ne s'intéresse donc pas à l'évolution de cette robustesse au cours du temps.

Nous pouvons d'ores et déjà dire que les approches liées à la validation et à la vérification des systèmes basés sur la connaissance fournissent des propriétés qu'il peut être intéressant d'étudier dans le contexte de la robustesse de la connaissance.

Concernant la robustesse des systèmes basés sur la connaissance, deux approches différentes ont été présentées :

- La première prend en compte la robustesse liée à l'utilisation du système basé sur la connaissance. Cette approche se rapproche des notions de validation et de vérification.
- La deuxième approche se concentre sur les aspects liés à l'évolution de la connaissance et l'évolution des éléments desquelles elle est extraite.

### **3.7 Conclusion**

Nous avons étudié la connaissance selon plusieurs points de vue. Cette étude permet de cerner la nature de la connaissance.

Les méthodologies présentées ont pour but de fournir des modèles de connaissances. Ces modèles de connaissances servent ensuite de base pour construire les systèmes basés sur la connaissance. Les différents modèles produits permettent de constituer des bases de connaissances décrites à l'aide de langages de représentations spécifiques aux types de modèles produits et à l'aspect des connaissances étudiées, par exemple des bases de règles ou des réseaux sémantiques. Le point commun de ces méthodologies est qu'elles utilisent des documents et des experts comme sources de connaissances. Du point de vue du système basé sur la connaissance, les personnes peuvent donc avoir deux rôles :

- Les experts fournissent de la connaissance et participent aux processus de validation des modèles produits par les différentes méthodologies. Le rôle d'utilisateur intervient quand le système basé sur la connaissance est implémenté.
- L'utilisateur exploite la base de connaissances afin d'en retirer les connaissances dont il a besoin pour réaliser ses tâches. L'intérêt pour l'utilisateur est que le système basé sur la connaissance et la base de connaissances doit être de qualité suffisante pour répondre de manière efficace à ses requêtes.

Les méthodes de capitalisation présentées dans ce chapitre ne sont pas appropriées au cadre de nos travaux pour diverses raisons :

- Ces méthodes sont globales. Nos travaux ont pour objectif d'extraire de la connaissance spécifique "localisée" dans certains processus métiers.
- Ces méthodes reposent sur des modèles de connaissance qui ont vocation à constituer des mémoires d'entreprise sous forme de bases de connaissances. Dans notre approche, notre objectif est de transposer les connaissances afin de les rendre utilisables dans un système PLM. Or, les modèles constitués avec ces méthodologies ne peuvent pas être implémentés dans ce type de système.

Les formalismes de représentation de la connaissance permettent de décrire la connaissance et d'en stocker une représentation. Nous avons retenu trois critères pour choisir un formalisme de représentation des connaissances :

- La puissance d'expressivité : l'expressivité varie d'un langage à un autre, car elle est due à des différences de paradigmes de représentation. Ainsi, on ne retrouve pas dans les graphes conceptuels les mêmes restrictions de type et de cardinalité que dans les Logiques de Description.
- La sémantique et la syntaxe : ce sont des éléments déterminants d'un modèle uniforme de représentation des connaissances. Certains langages offrent la possibilité d'utiliser une syntaxe de format standard permettant l'échange des données à travers le Web comme XML.
- L'existence d'outils associés d'aide au développement : à chaque langage d'écriture est associé un outil (logiciel, serveur, ..) d'aide à la construction.

Les graphes conceptuels allient le pouvoir d'expression du langage naturel avec le formalisme de la logique. Ils sont très adaptés à la représentation sémantique qui convient à notre objectif. De plus, l'aspect visuel de ce modèle le rend interprétable et éditable avec facilité. Cette représentation graphique facilite la construction des axiomes qui sont souvent difficile à représenter avec d'autres modèles. Enfin, plusieurs outils efficaces incluant un moteur d'inférence sont développés et permettent de rendre une ontologie opérationnelle (CharGer et CoGiTant).

*Chapitre 3. Formalisation des connaissances métiers*

## Deuxième partie

# Approche globale d'implémentation d'un projet PLM



# Introduction

L'enjeu économique autour de la réduction et de l'optimisation du développement des produits est important pour les entreprises industrielles. Malgré le savoir-faire de ces entreprises, la réutilisation de la connaissance métier dans les processus de développement est loin d'être efficiente. Dans la seconde partie, nous proposons une approche de capitalisation du savoir faire autour des systèmes PLM. Ces systèmes sont spécialement dédiés à la gestion de cycle de vie du produit et constituent le socle du système d'information des entreprises qui souhaitent centrer leur système sur le développement de leurs produits. Le contexte industriel de ce travail réside dans le secteur industriel dans l'industrie des matières plastiques. Au travers de nos travaux, nous souhaitons donc intégrer et capitaliser des connaissances générées par un processus au sein d'un système PLM.

## *Introduction*

# MPPI : Une méthode globale d'implémentation d'un système PLM dans une PME/PMI

## Sommaire

---

<b>4.1</b>	<b>Introduction</b>	<b>75</b>
<b>4.2</b>	<b>Les projets SI de type PLM</b>	<b>76</b>
4.2.1	Un projet global	76
4.2.2	Les coûts d'un projet	76
4.2.3	Les étapes d'un projet PLM	77
<b>4.3</b>	<b>méthodologie MPPI</b>	<b>77</b>
4.3.1	Approche globale	77
4.3.2	Processus d'avant-projet	79
4.3.3	Processus de déploiement	80
4.3.4	L'accompagnement et l'adaptation	82
<b>4.4</b>	<b>Conclusion et discussion</b>	<b>83</b>

---

## 4.1 Introduction

La mise en œuvre d'un système PLM est une tâche complexe qui peut presque s'apparenter à la conception d'un système d'information spécialisé. Cette tâche nécessite plusieurs mois de travail et parfois plusieurs années. Dans la plupart des cas, cette mise en œuvre se fait dans un mode projet (maquette, validation, formation, déploiement) sans s'appuyer sur des outils de modélisation adéquat. Pourtant, de nombreuses méthodes de modélisation et de conception de SI existent, mais elles sont peu adaptées au système d'information centrée sur les produits. En effet, soit ces méthodes sont basées sur des approches de construction "from strach" ce qui ne répond aux contraintes des outils métiers existant, soit elles sont trop génériques et difficile à mettre en œuvre.

L'objet de ce chapitre est de présenter une approche méthodologique MPPI (Methodology for PLM Project Implementation) pour la mise en œuvre d'un système d'information centré sur le produit. Notre démarche se propose de relever trois défis : établir le modèle de représentation des produits le plus pertinent possible; définir et implémenter le processus de conception

de l'entreprise dans l'outil de PLM ; coupler l'approche de déploiement avec une démarche de capitalisation des connaissances.

## 4.2 Les projets SI de type PLM

### 4.2.1 Un projet global

La mise en œuvre d'une infrastructure autour du PLM est un projet global du SI qui s'inscrit dans une logique de long terme. Aussi, tout projet de déploiement d'un système PLM nécessite de maîtriser les points suivants :

- les processus métiers et les refontes éventuelles ;
- les processus fonctionnels ;
- les migrations de données ;
- l'intégration globale avec les autres composantes du SI (comme l'ERP) ;
- la conduite de changement ;
- les supports et la formation.

Dans les projets autour des PLM, deux grandes orientations existent. Il y a les projets qui nécessitent de nombreux développements de par l'histoire de l'entreprise, sa complexité, ou les contraintes de son business . Ces projets demandent un fort accompagnement. L'autre tendance, la plus forte actuellement, vise à déployer rapidement son projet, tout en limitant le coût. Pour cela, on cherche en permanence l'adéquation entre les besoins, les gains espérés et les fonctionnalités standard des progiciels. Les restrictions de budgets poussent même à segmenter les projets en petits lots peu onéreux, au risque de dégrader l'objectif global [deb04]. Il apparaît important de se situer, et de savoir ce que l'on veut et comment le projet s'intègre dans un projet d'entreprise.

### 4.2.2 Les coûts d'un projet

La construction du système d'information autour d'un système PLM fait intervenir un certain nombre d'acteurs. L'ensemble de ces acteurs constitue la chaîne de construction qui amène les entreprises à définir son SI . Parmi ces acteurs nous citerons :

- Les acteurs externes (éditeurs, intégrateurs) qui proposent respectivement des solutions PLM et un accompagnement dans la mise en œuvre de la solution (cf sec. 1.5)
- Les acteurs internes qui sont les personnels mobilisés dans la définition, l'expression de besoin et la mise en œuvre du projet.

De fait, les coûts d'un projet PLM sont de plusieurs types :

- Les coûts externes englobent le coût d'achat des licences et le coût de l'intégrateur. Il faut d'ailleurs noter que le coût externe est difficile à évaluer en terme de comparaison de système, tant les modes de calcul de licence varie selon les éditeurs de logiciel. On peut ainsi trouver plusieurs types de combinaison : une approche par utilisateurs (utilisateurs nommés, utilisateurs simultanés, ...), une approche par module, une approche par type de licence (client lourd, client léger). En ce qui concerne le coût intégrateur, il va varier en fonction du périmètre et de l'ampleur du projet. Le budget Intégrateur est en principe conséquent et à tendance à croître fortement lorsque l'on choisit de faire de nombreux développements spécifiques. Dans les coûts externes, il convient également d'inclure des coûts de maintenance.
- Les coûts internes résultent de plusieurs éléments. Un projet PLM suppose une forte mobilisation de la part du personnel durant la phase de déploiement. Les intégrateurs s'appuient sur une équipe interne qui apporte leur connaissance de l'entreprise. A ce coût va égale-

ment s'ajouter les coûts de formation qui seront proportionnels au nombre de personnes à former et au nombre de jours de formation.

### 4.2.3 Les étapes d'un projet PLM

Même s'il est difficile d'établir un ensemble d'étapes exhaustif, un projet de type PLM se décompose en trois grandes phases :

- la phase d'avant-projet qui débute de l'idée de mettre en place un tel projet jusqu'au choix de la solution,
- la phase de mise en œuvre qui va correspondre à l'adaptation du système choisi à l'organisation de l'entreprise,
- La phase d'accompagnement et d'adaptation du système qui est une phase transversale généralement incluse dans les deux précédentes et qui permet de garantir l'adéquation et l'adaptation du système aux évolutions du contexte industriel de l'entreprise.

Dans cette section, nous définissons les principales caractéristiques de la mise en œuvre d'un système d'information centré sur le cycle de vie des produits.

## 4.3 méthodologie MPPI

### 4.3.1 Approche globale

Le déploiement d'un projet PLM est l'occasion pour une entreprise, même pour une PME/PMI, de remettre à plat certaines méthodes de travail. A défaut, il implique une formalisation de ce qui est actuellement en application dans l'entreprise. Face à ce constat, nous avons bâti notre approche en faisant l'hypothèse que ce travail d'analyse est une source information qui va permettre de faciliter la capitalisation du savoir-faire. Ainsi, la démarche proposée est une approche combinée qui prend en compte la capitalisation du savoir-faire pendant les réflexions menées lors de la mise en œuvre d'un projet PLM. Elle intègre deux aspects complémentaires :

- Une approche globale centrée sur un processus de mise œuvre d'un système PLM en PME/PMI. Ce processus métier reprend en partie les trois grandes phases définies à la section précédente (cf sec. 4.2.3),
- Une étape d'analyse combinée avec une approche de la capitalisation des savoirs-faire.

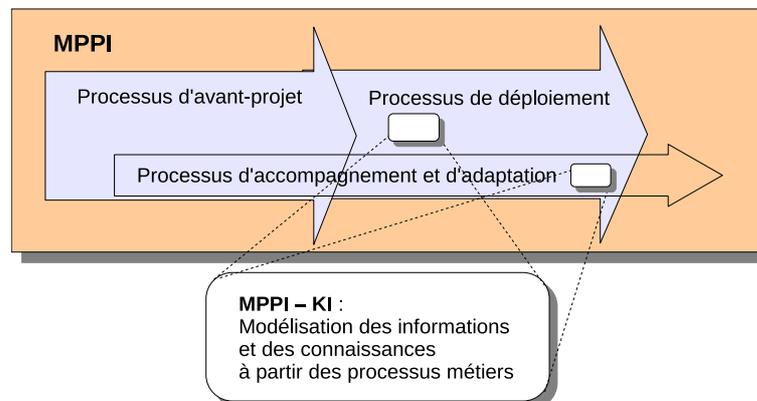


FIGURE 4.1 – Principe de la méthode MPPI

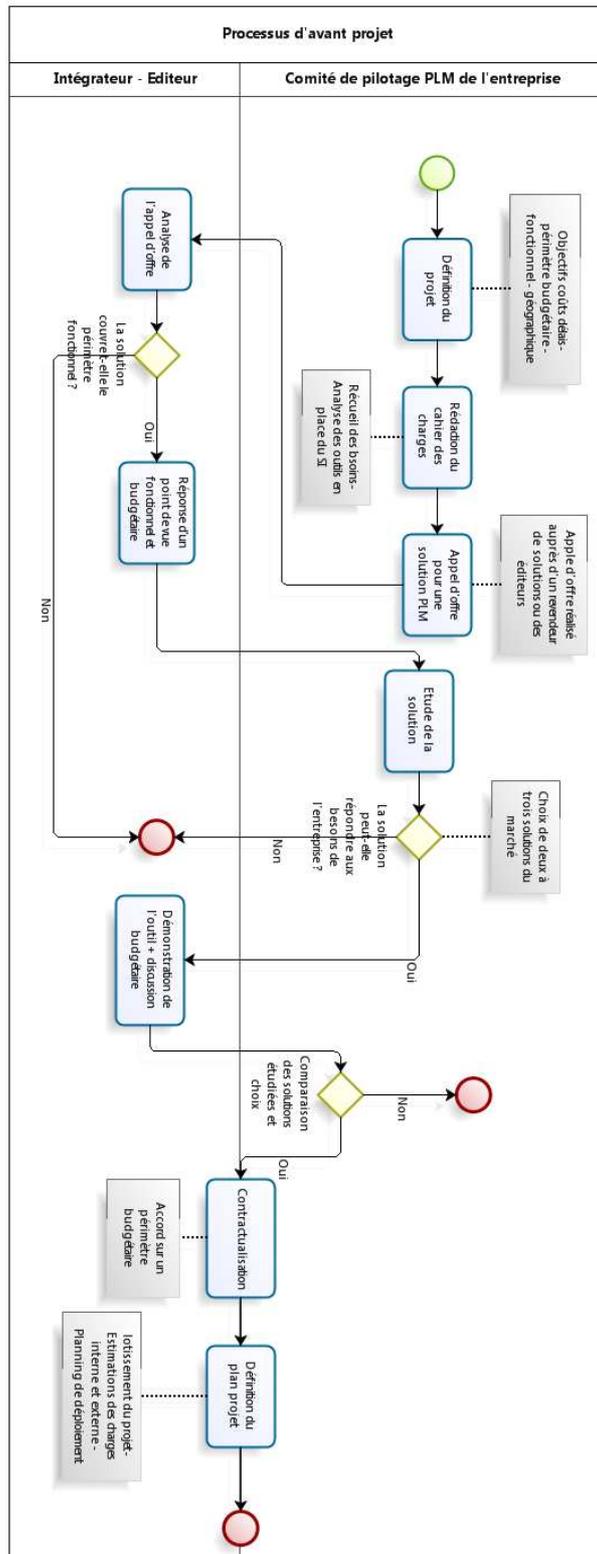


FIGURE 4.2 – Diagramme BPMN du processus d'avant projet

La figure précédente (fig. 4.1) schématise l'approche proposée dans MPPI [BLPB08c] [BLPB08b] [BLPB08d]. Ainsi, MPPI est structurée autour de deux processus : le processus d'avant-projet et le processus de déploiement. Il est à noter que le processus d'accompagnement et d'adaptation doit être considéré comme un sous-processus transversal, inclus dans les deux premiers.

L'approche globale MPPI met en avant une modélisation globale du processus de mise en oeuvre d'un système d'information centré sur le produit. Comme le montre les figures suivantes (fig. 4.2 et 4.3), la définition d'un processus sous un formalisme BPMN permet de prendre en compte l'ensemble des étapes et des caractéristiques d'un projet défini dans la section précédente. L'intérêt du formalisme BPMN est double. Il permet de proposer une modélisation avec des granularités différentes couplée avec une notation accessible dans un contexte de PME/PMI. Par ailleurs, le cas échéant, cette modélisation peut être transformée dans un environnement d'exécution (BPEL) grâce des mécanismes de transformation.

Les sections suivantes présentent en détail les deux processus de MPPI, la partie concernant plus spécifiquement la capitalisation étant définie au chapitre 5.

#### 4.3.2 Processus d'avant-projet

Le processus d'avant-projet que nous proposons est défini dans le diagramme BPMN de la figure 4.2

**La définition du projet.** Cette étape détermine l'intérêt du projet, décrit le but recherché, les moyens pour y parvenir. Elle quantifie l'effort et les gains visés et donne un cadre global au projet. Pour cela, il est nécessaire de faire un état des lieux du système d'information en place, de l'organisation, des processus en lien avec le développement des produits. Ainsi, il s'agit de répondre aux interrogations suivantes :

1. Les raisons du projet : en quoi le contexte externe et interne de l'entreprise incite à utiliser une solution PLM ? Quelles sont les limites de mon système actuel ?
2. Les objectifs du projet : quelles sont les objectifs de ce projet (mise en place de nouvelles méthodes de travail, amélioration d'un système existant) ? Quelles informations sont gérées dans l'outil PLM ?
3. Le périmètre géographique du projet : quels sont les sites de production concernés par le projet ? Quels services sont concernés dans le projet ?
4. Le périmètre budgétaire du projet

L'objectif de cette étape est de caractériser le contexte du projet, en accord avec les orientations stratégiques de l'entreprise.

**La rédaction du cahier des charges.** La rédaction du cahier des charges synthétise les besoins et l'état actuel du système d'information. Il permet donc d'étudier la situation afin de proposer et de choisir la meilleure solution possible pour atteindre les objectifs globaux. Un cahier des charges se structure généralement en plusieurs parties :

- positionnement et objectifs du projet,
- analyse et état des lieux du système d'informations actuel,
- définition des fonctionnalités : Il s'agit dans cette partie de préciser les attentes que l'on a vis-à-vis du système cible. Il est nécessaire de dresser la liste des fonctions du logiciel pour satisfaire le niveau de besoin attendu.

**Choix d'une solution.** Le processus de sélection d'un système PLM nécessite plusieurs étapes :

- établissement d'une première sélection à partir des solutions du marché auprès desquels un appel d'offre est lancé ;
- sélection sur les propositions faites et établissement d'une seconde liste restreinte ;
- proposition d'une maquette et des démonstrations des solutions en short list ;
- sélection finale, si possible à l'aide d'une grille de critères équilibrés selon les enjeux recherchés.

Cette étape peut connaître quelques modifications selon la taille de l'entreprise, et ce notamment sur la durée et le détail des maquettes. Le choix d'une solution est une étape cruciale du projet. Les critères techniques et de coûts sont ceux à qui l'on accorde le plus d'importance. Cependant, il ne faut pas se cantonner uniquement à cette vision. Des critères de pérennité, de proximité, de stratégie de l'éditeur sont à prendre en considération. Nous proposons une grille (voir annexes) de comparaison détaillée et basée sur quatre critères (fonctionnels, techniques, stratégiques, financiers).

### 4.3.3 Processus de déploiement

**La définition du plan projet.** La phase de définition du plan projet sert à déterminer plusieurs éléments : l'équipe projet, le lotissement du projet ainsi que le planning. **L'équipe projet** est constitué de personne interne à l'entreprise sur laquelle l'intégrateur pourra s'appuyer pour identifier les besoins fonctionnels. On peut identifier dans cette équipe trois rôles essentiels :

- le chef de projet : le chef de projet est responsable du projet dans le respect des objectifs fixés ainsi que de l'application de la stratégie de conduite du changement définie. Cette personne doit suffisamment bien connaître le fonctionnement et l'organisation de la société afin de choisir les actions de communication, de formation et d'accompagnement les plus appropriées.
- le responsable organisationnel : Le responsable organisationnel doit être une personne qui connaît bien l'organisation de l'entreprise. Il est nécessaire que ce dernier dispose d'une crédibilité interne lui permettant d'imposer les choix de mise en œuvre qu'il conseillera.
- le responsable technique : le responsable technique doit s'assurer du bon fonctionnement du matériel et du logiciel ainsi que de la mise en place des mises à niveau futures.

Dans le contexte d'une PME/PMI, le lotissement a pour objectif de définir comment le projet peut être découpé et dans quel ordre peuvent être organisés ces différents lots suivant différentes stratégies de lotissement :

- globale : un nouveau système pour tous et pour tous les projets. Cette stratégie est particulièrement approprié aux petites et moyennes entreprises mais reste difficile à mettre en œuvre dans un grand groupe.
- par projet : L'ensembles des fonctionnalités sont développés, testés, puis validés sur un projet avant d'être étendue au reste des projets.
- par fonctionnalités : Le projet débute sur un système avec des fonctionnalités réduites. Après leur validation, d'autres fonctionnalités sont ajoutées.
- par services ou par site : Le système est mis en place pour un service ou un site de production puis déployer au reste de la société, une fois validée.

**La mise en œuvre.** La mise en oeuvre est une étape relativement longue qui comprend les tâches de spécification, de développement spécifique et de test. Concernant les spécifications, elles doivent traduire le fonctionnement de l'entreprise ainsi que les besoins des utilisateurs. Ces spécifications sont rédigées, à la suite d'ateliers réalisés avec l'équipe projet mis en place au sein de la société. Elles sont donc intimement liées aux fonctionnalités du système et à ses outils de description, notamment pour le modèle de données, les droits d'accès, la personnalisation de l'interface utilisateur, les processus.

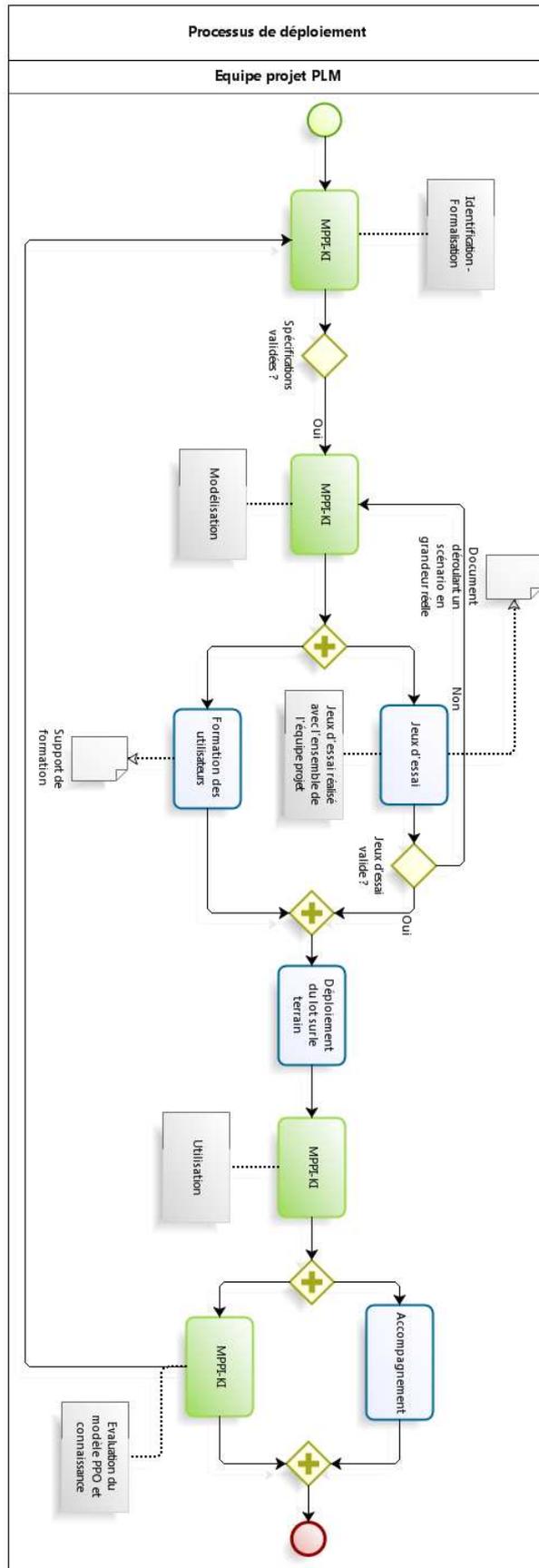


FIGURE 4.3 – Diagramme BPMN du processus de déploiement

Comme indiqué sur le diagramme BPMN (fig. 4.3), la définition du modèle de données et l'intégration dans le système PLM des connaissances en lien avec le développement du produit est détaillée au sein du module MPPI-KI et présenté au chapitre 5

#### 4.3.4 L'accompagnement et l'adaptation

Dans le découpage proposé, les activités liées à l'accompagnement et et l'adaption, sont des taches cycliques et transversal. Dans cette section nous présenterons les aspects lié à la gestion du changement et à la reprise de l'existant.

**La gestion du changement.** De nombreux projets PLM n'atteignent pas leurs objectifs, principalement pour des raisons non techniques. Les problématiques de résistance au changement ne vont pas en décroissant au fur et à mesure que les technologies s'améliorent. Les employés d'une organisation partagent des valeurs communes, une culture d'entreprise et des acquis sociaux pouvant être remis en question par la modification de l'organisation de l'entreprise ou l'introduction d'un nouvel outil informatique. La conduite du changement doit prendre en compte ces valeurs et mettre en place un dispositif d'écoute permettant d'identifier les craintes collectives afin, le cas échéant, de communiquer sur la stabilité des valeurs et acquis actuels (fig. 4.4) .

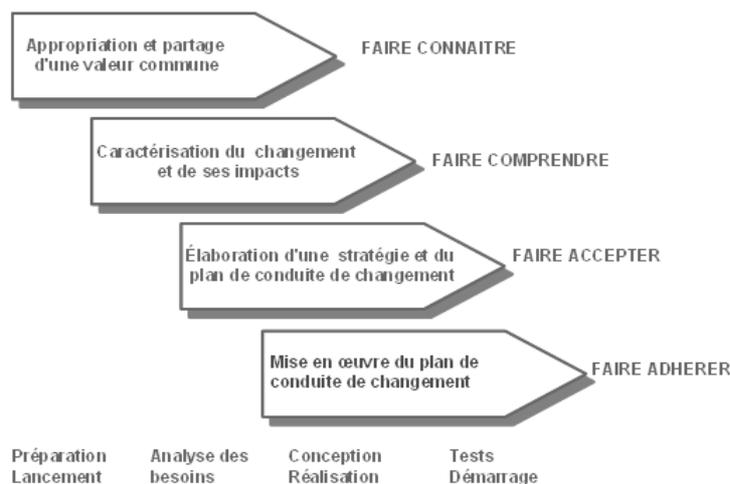


FIGURE 4.4 – Phase de gestion du changement [deb04]

Le déploiement d'une solution PLM dans une entreprise, engendre un changement. Ce changement des modes de travail ne peut se faire sans l'implication et l'adhésion de l'ensemble des acteurs de l'entreprise. Dans la conduite du changement plusieurs aspects sont à prendre en compte :

- la communication. La communication a pour objectif de faire circuler les informations afin de promouvoir le projet, mais aussi d'écouter et de prendre en considération les remarques qui pourront être faites. Les utilisateurs doivent comprendre les enjeux du projet et le rôle de chacun.
- la formation. La formation va servir à expliquer et rendre opérationnel les employés sur le nouvel outil.
- la documentation. La documentation utilisateur est très importante dans ce type de projet. Elle va consister à décrire de manière détaillée les actions pour utiliser l'outil nécessaire à l'obtention d'un résultat.

- l’accompagnement sur le terrain. Il est important après la phase de mise en production, que les utilisateurs se sentent accompagnés : les assister lors des problèmes qu’ils peuvent rencontrer, répondre à leurs interrogations et faire remonter les éventuels dysfonctionnements en production.

**La reprise de l’existant.** La reprise de l’existant est une question importante dans un projet de déploiement d’un système PLM. En effet, pour faciliter l’appropriation d’un nouvel outil, il est important de mettre à disposition des utilisateurs, du contenu. Mais comment procéder : en une seule fois ou par itérations ? Cette question doit être traitée au cas par cas, en prenant en compte les spécificités de chaque organisation et le volume des données à migrer. Dans cette phase de reprise des données, le recensement des données à migrer est dans la plupart des cas un compromis entre la nécessité de mettre du contenu à disposition et la tâche de migration. En effet, le temps nécessaire aux tâches de migration est souvent sous-estimé car il arrive que les données soit éparpillées ou que des informations soient manquantes. Il est par ailleurs important de planifier cette reprise car elle nécessite des ressources parfois non négligeables selon l’étendue de la reprise.

**Intégration globale au SI.** Dans le cadre du déploiement d’un système PLM, les questions d’intégration globale au SI doivent être abordées au plus tôt . En effet, quelque soit la taille de l’entreprise ou son domaine d’activité, le besoin de garantir une continuité du flux informationnel implique une analyse de l’intégration fonctionnelle et technologique du PLM avec les autres composantes du SI. Le cas le plus classique reste l’intégration avec l’ERP.

## 4.4 Conclusion et discussion

L’approche proposée dans ce chapitre est une approche globale pour le déploiement de système d’information de type PLM au sein des PME/PMI. Elle est caractérisée par différents processus qui vont guider la mise en œuvre en amont et en aval du projet. Dans les réflexions menées concernant la pertinence de prendre une approche processus plutôt qu’une approche projet, plusieurs éléments ont contribué à faire ce choix :

- d’une part, l’approche processus nous paraissait le meilleur moyen de mettre en œuvre une automatisation ou une exécution des différentes tâches à réaliser. Ce point nous semble essentiel dans la mesure où le formalisme choisi permet de définir les artefacts en entrée et en sortie des activités. De cette façon , nous avons pu enrichir cette méthode avec des grilles d’analyse qui interviennent directement comme des Entrées/Sorties.
- d’autre part, cette approche nous permettait de segmenter suivant le besoin, avec des granularités différentes . C’est le cas avec MMPI-KI qui est un sous-processus (détaillé dans le chapitre suivant) dont l’objet ciblé sur la capitalisation des savoir-faire.

MPPI se positionne dans le cadre de l’ingénierie des systèmes d’information. Toutefois, il ne s’agit pas d’une méthode de conception permettant de concevoir l’intégralité d’un système d’information mais d’une méthode générique applicable avec des systèmes existants. Dans ce contexte, il était impossible de tester l’ensemble des plate-formes PLM existantes. Sans être exhaustif, nous avons validé les principes de la méthode sur une autre plate-forme que celle utilisée par Marmillon . Nous avons mené initialement quelques tests sur une troisième plate-forme. Finalement, le caractère générique reste valable dans la mesure où il est possible d’établir une partie du méta-modèle de la solution retenue.



# MPPI-KI : Modélisation connaissance/information

## Sommaire

---

<b>5.1</b>	<b>Introduction . . . . .</b>	<b>85</b>
<b>5.2</b>	<b>Modèle d'intégration des connaissances . . . . .</b>	<b>86</b>
5.2.1	Démarche globale . . . . .	86
5.2.2	Rôles associés à cette approche . . . . .	87
5.2.3	Niveau information . . . . .	88
5.2.4	Niveau connaissance . . . . .	93
<b>5.3</b>	<b>Modèle pour l'évaluation du système d'information produit .</b>	<b>97</b>
5.3.1	Niveaux d'analyse . . . . .	97
5.3.2	Proposition d'indicateurs . . . . .	100
<b>5.4</b>	<b>Conclusion et discussion . . . . .</b>	<b>104</b>

---

## 5.1 Introduction

La difficulté de la mise en œuvre d'un système d'information dans une PME/PMI est principalement liée à des difficultés structurelles et contextuelles. Dans le chapitre précédent, nous avons présenté une approche méthodologique globale en fondant notre hypothèse que les besoins contextuels des PME/PMI pouvaient être traités comme un processus. Dans ce chapitre, nous présentons un zoom détaillé sur l'étape de construction des modèles pour l'ensemble des composantes du SIP à partir de l'activité de l'entreprise. De nombreuses informations et données gravitent autour des processus métiers d'une entreprise. De ces informations peuvent être extraites un grand nombre de connaissances pouvant être capitalisées et réutilisées. A partir de ce constat, notre démarche est de décrire une approche complémentaire de la phase de déploiement d'un système PLM qui exploite une analyse des processus métier qui sont formalisés pendant cette étape.

La formalisation des processus métiers est caractéristique du cœur de l'activité d'une entreprise. Cette formalisation décrit avec un fort niveau de détails la coordination des activités internes et l'emploi des ressources. En ce sens, elle permet d'unifier le fonctionnement global de l'entreprise, tout en facilitant l'intégration de nouveaux employés. On retire également de cette approche de formalisation, une forte valeur ajoutée. En effet, au-delà d'une cartographie traditionnelle, cette formalisation permet de modéliser au travers des processus, les comportements et savoir-faire de l'entreprise. Cette connaissance tacite est intéressante à plusieurs niveaux :

- la performance : mieux maîtriser les savoir-faire et les flux d'information entre collaborateurs;
- les ressources humaines : valoriser le capital de compétences, ne pas fragiliser l'entreprise par rapport à des départs de collaborateurs, préserver la motivation et l'évolution du salarié;
- la R&D - Innovation : stimuler l'esprit d'innovation en croisant les connaissances de collaborateurs de différents horizons.

Finalement, les processus métier d'une entreprise offrent une vision globale de l'entreprise. Cette démarche de formalisation a également comme objectif de permettre la capitalisation des expériences industrielles et des connaissances liées aux processus métiers autour de l'ingénierie de produits manufacturiers. La richesse des informations qui gravitent autour des processus métier nous paraît essentielle pour notre phase d'identification des connaissances cruciales.

## 5.2 Modèle d'intégration des connaissances

### 5.2.1 Démarche globale

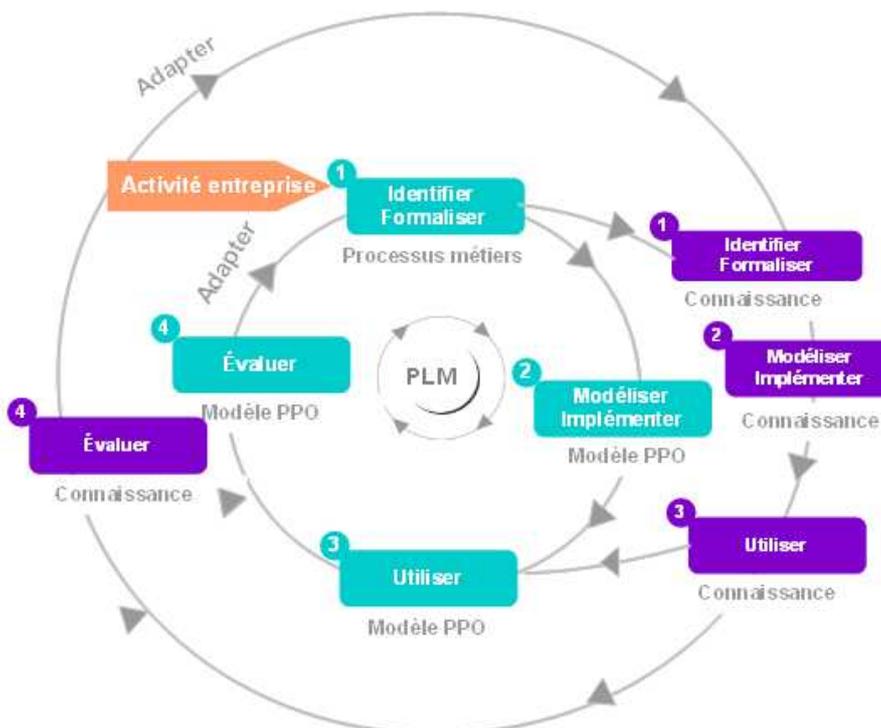


FIGURE 5.1 – Démarche globale d'intégration des connaissances

Comme nous l'avons présenté dans le chapitre 1, les systèmes d'information gèrent un très grand nombre d'informations et de données sur le produit, les processus et l'organisation. Or, la connaissance, telle que définie dans le chapitre 3, naît de la compréhension des relations qui peuvent exister entre plusieurs données.

Le principal objectif de notre approche est donc de faire le lien entre les données-informations

stockées dans le système PLM et les données-informations contenu dans les connaissances et règles métier. Au final, le souhait est d'obtenir d'un coté une base de données-informations unique dans le système PLM et de l'autre coté une application connexe gérant les connaissances dans un formalisme défini.

Cette démarche (MPPI-KI) [BLPB08a] [BLPB09] [BLPB08e] se situe la phase de déploiement tel que nous l'avons défini dans le chapitre précédent (cf sec. 4.3.3). Elle vise donc à "outiller" le responsable du déploiement qui doit spécifier le modèle de données du système PLM tout en tenant compte des besoins de capitalisation de l'entreprise.

Notre approche se décompose en deux grandes étapes menées conjointement, et résumée sur la figure précédente (fig. 5.1) :

- l'intégration d'un point de vue information est un cycle d'action qui a pour but de caractériser le modèle de données;
- l'intégration d'un point de vue connaissance.

### 5.2.2 Rôles associés à cette approche

Dans cette approche, nous retenons trois typologie d'acteurs qui vont être sollicités au cours de notre phase de déploiement et d'intégration des connaissances.

**Le rôle de concepteur du système d'informations** qui consiste à construire un système d'informations de type PLM pouvant communiquer avec un système à base de connaissance. Une fois les modèles conceptuels réalisés, il s'agit de rendre opérationnel ces modèles en codifiant d'une part les connaissances représentées par le modèle mais également les aspects processus, produit et organisation. Le paramétrage avant la mise en production du système d'info et de la base de connaissances ainsi que les tests et éventuelles besoins d'adaptations seront effectués par cette même personne. Le concepteur intervient ici comme expert du Système d'Information, ses compétences sont essentiellement en lien avec l'informatique.

**Le rôle d'expert métier** est de fournir les éléments nécessaires pour l'obtention d'une part du modèle de données produit, processus et organisation et d'autre part des connaissances. Son rôle suppose une connaissance poussée de l'entreprise, de son fonctionnement ainsi que des connaissances métiers. Il est à la fois la personne possédant la connaissance du métier mais aussi un utilisateur. Son rôle est d'apporter la connaissance au concepteur afin que ce dernier la formalise.

**Le rôle d'utilisateur** est caractéristique des acteurs participant au processus de développement du produit susceptible d'avoir recours à des éléments capitalisés. Ils utilisent le système PLM et accèdent également à la base de connaissances. Ce troisième type de rôle est utilisé pour détecter les besoins des utilisateurs vis-à-vis du système PLM et de la base de connaissance. Ils interviennent également pour détecter d'éventuelles évolutions de l'environnement. Suivant les actions et requêtes effectuées par l'utilisateur, nous souhaitons déterminer la robustesse du système.



contraintes sur les modèles sont donc doubles : contraintes en amont provenant du méta-modèle, contraintes en aval provenant des objets manipulés au sein de l'activité de l'entreprise .

La première étape de nos travaux est axée sur ce point et propose une méthodologie permettant de définir et d'obtenir un consensus sur le modèle que l'on souhaite intégrer dans le système PLM choisi, d'utiliser et instancier ce modèle et de l'évaluer. Cette approche a pour point de départ les processus métiers de l'entreprise. La méthodologie propose de définir le modèle du système PLM en s'appuyant fortement sur les processus. L'approche proposée se décompose en 4 étapes : Identifier et formaliser, Modéliser, Instancier, Evaluer.

### Identifier et formaliser

**Identifier et formaliser les processus métiers.** L'idée clef de cette étape réside dans la définition des processus métiers en lien avec le cycle de vie du produit. Même si les entreprises qui mettent en œuvre un système PLM ne le maîtrise pas encore, elles sont sensibilisées depuis déjà longtemps à la gestion de leur processus. Elles y sont poussées par le contexte industriel mais également pour des raisons d'ordre réglementaire comme la certification qualité par la norme ISO 9001 (probablement la norme la plus connue au monde) .

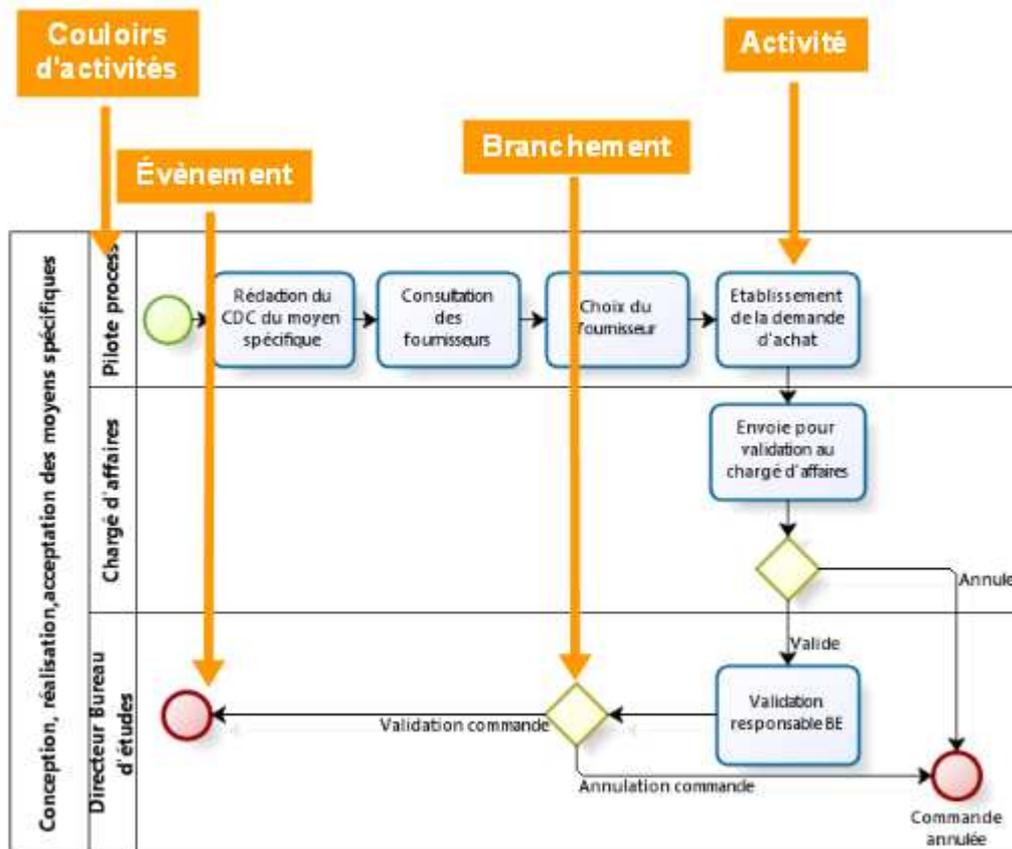


FIGURE 5.3 – Exemple de processus métier formalisé en BPMN

L'étude des principaux formalismes existants, nous a permis de choisir, en fonction de nos attentes la notation BPMN. En effet, BPMN offre une notation qui couvre plus correctement les besoins en modélisation de processus métier qu'UML. Contrairement à d'autres formalismes,

BPMN est composé d'un diagramme unique. De plus, cette notation simplifiée permet aux experts métier de l'acquérir rapidement et est facilement compréhensible par un utilisateur non averti.

Cette formalisation va permettre de poser à plat, de manière non ambiguë, les processus métiers et de les adapter si nécessaire. Nous souhaitons par ce biais que les différents experts métiers se mettent d'accord rapidement sur les activités des différents processus. Cette étape intervient en quelque sorte comme l'expression du besoin de l'entreprise en terme d'automatisation de ces processus.

La construction d'un processus en BPMN passe par une première identification des tâches/activités et des événements qui conditionnent le déclenchement du processus ou des activités. Il convient ensuite de relier ces activités en faisant le choix du connecteur qui représente la condition de routage entre les flux d'entrées et les flux de sortie. La dernière partie sera de définir des couloirs activités. On retrouve avec ces couloirs le même principe que dans les diagrammes d'activités d'UML qui consiste à montrer les responsabilités de chaque acteur dans le processus. Le schéma (fig. 5.3) représentent un processus BPMN.

**Identifier les classes d'objets.** Après l'obtention d'un consensus autour des processus métiers formalisés, le concepteur intervient pour les analyser et proposer une première ébauche du modèle de données du système PLM. Le modèle de données a pour but d'écrire de façon formelle les données qui seront utilisées par le système d'information. Il s'agit donc d'une représentation des données permettant de décrire le système d'information à l'aide d'entités (ici les diagrammes de classe).

C'est donc un ensemble d'informations existant dans l'organisation étudiée et repéré par le concepteur au travers des processus formalisés, en raison de son utilité dans la gestion. La représentation d'un modèle de données dans un système PLM est semblable à celle du modèle orienté objet avec de légères spécificités.

**Identifier les espaces d'états.** Une fois les classes d'entités ou d'objets identifiés, il est nécessaire de construire leurs espaces d'états. Les espaces d'états définissent les cycles de vie des objets; ils sont construits à partir d'une grille de maturité globale de l'entreprise. Cette grille constitue un référentiel de terminologie explicite et sans ambiguïté. Attaché principalement à une classe, il doit représenter cette dernière par rapport à ses états possibles et aux transitions qui la font évoluer.

**Identifier les droits des utilisateurs** Les systèmes PLM possèdent des systèmes d'accès aux données assez poussés. Ils permettent de définir des rôles et de différencier les accès aux informations. Certains systèmes ont une gestion des accès assez riche et proposent de définir les droits pour chaque statut de chacune des classes qui peuvent être représentés dans un tableau à double entrée (fig. 5.4). Dans une phase de déploiement cette étape de définition des droits d'accès est très importante puisque ces derniers garantissent la cohérence et la sécurité des données "produits".

Cette première étape d'identification est la plus importante lors du phase de déploiement d'une solution PLM. Elle doit être le reflet du fonctionnement de l'entreprise. Elle défini différents éléments :

- les processus métiers et les acteurs qui interviennent dans ceux-ci;
- les classes d'objets;
- les relations entre ces classes;
- les espaces d'état de chacune de ces classes;

– les accès aux informations.

Rôle : Chef de projet Classe : Projet		Statuts		
		Faisabilité	Développement	Production
Droits	Création	X		
	Visualisation	X	X	X
	Modification	X	X	
	Suppression	X		

FIGURE 5.4 – Exemple de droits sur la classe Projet et le rôle Chef de projet

### Modéliser

La phase de modélisation correspond à la deuxième étape de cette démarche. Il convient maintenant de modéliser dans le système PLM ce qui a été défini précédemment. Cette étape est réalisée par le concepteur du système d'informations via le module d'administration du système PLM. La chronologie des actions que nous proposons est la suivante :

1. Paramétrage des classes d'objets
2. Paramétrage des associations entre les différentes classes
3. Paramétrage des espaces d'états de chacune des classes
4. Paramétrage des utilisateurs, rôles et droits d'accès
5. Paramétrage des processus

Les quatre premières actions correspondent à du paramétrage classique de base de données. En ce qui concerne la modélisation des processus, elle s'effectue par le biais des workflows centrés sur le cycle de vie. A partir de l'identification précédente, les processus sont restructurés en éléments exécutables. Les systèmes PLM permettent de construire des circuits de validation ainsi que les tâches à accomplir entre les différents acteurs d'un processus. Ils permettent également de réaliser un suivi sur l'avancement d'un processus. Actuellement, les processus du PLM sont centrés sur les cycles de vies et non sur les activités ce qui ne permet pas d'instancier des processus avec des outils tel BPMN, BPML ou XPD. Le formalisme des processus du PLM utilisé est principalement basé sur UML.

### Utiliser - instancier

Une fois le système modélisé et testé, il est déployé sur le terrain et mis à disposition des utilisateurs. Des données sont créés et le système s'enrichit d'informations. En fonction de leurs rôles dans le processus de développement du produit, certains utilisateurs se serviront du système pour de la pure consultation de données et de documents, alors que d'autres auront une tâche beaucoup plus conséquente et apporteront de la valeur ajoutée au système.

**Exemple d'objets instanciés**

**Etats des objets instanciés**

Lien	Structure	Référence	Désignation	V.	Statut
	Affaire	00027	T 07	-	Atribué
	Pièce	00027A	Façade console 00	A	Développement
	Moule	2957		A	Réalisation
	DFN	DFN39	Pièce	B	Initial
	DFN	DFN39	Pièce	C	Archive
	Moyen de contrôle	2957-1	Marmillon Albert	A	Initial
	DFN	DFN39	Pièce	D	Initial
	DFN	DFN39	Pièce	E	Initial
	DFN	DFN39	Pièce	F	Initial
	Revue de fin de phase	J7	Jalon	B	En travail
	Moyen de contrôle	2957-2	Marmillon Albert	A	Accepté
	Composant	C2	Agraphe	A	Initial
	DFN	DFN39	Pièce	A	Initial
	Pilotage	01	Planning affaire	B	Archive
	Pilotage	01	Planning affaire	C	Archive
	Plan	P 0210	Plan d'ensemble façade console	A	Initial
	Conception	D 00008	Etude théologique	A	En travail
	Pilotage	P1	Planning affaire	A	Archive
	DFN	DFN07	Moyen de contrôle	A	Pour annulation
	Plan	PLU 029	Moyen de contrôle	A	Archive
	DFN	DFN 33	Environnement	A	Archive
	Rapport métrologie	CM042	Façade console 00	A	Archive
	Qualité	Q12	AMDEC process	A	En travail
	Conception	DC00115	Faisabilité	A	En travail
	Qualité	Q22	Demande de métrologie	A	En travail
	Rapport métrologie	CM0402	Façade console 00	A	Valide
	Doc divers	DD09	TABLEAU RECAPITULATIF PROJET	A	En travail
	Cv0044	C26	Plan de validation Marmillon	A	Initial

FIGURE 5.5 – Exemple d'objets/entités instanciés dans un système PLM

En ce qui concerne les processus, des modèles ont été formalisés dans la phase précédente. Pour les utiliser, les acteurs devront donc les instancier à partir des cycles de vie associés.

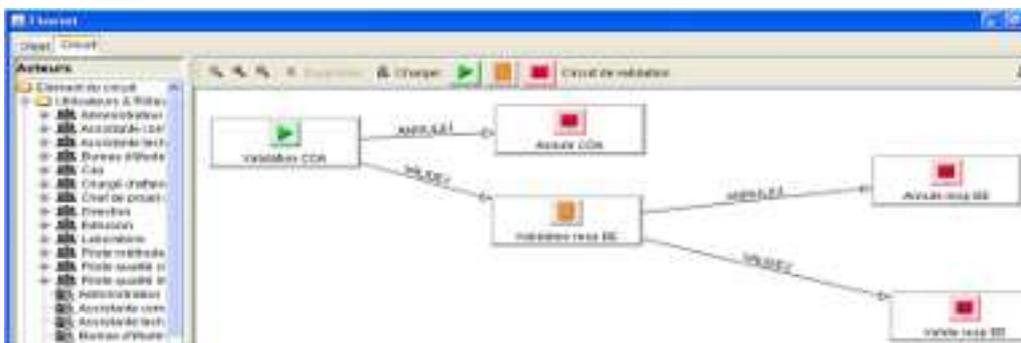


FIGURE 5.6 – Exemple de processus instancié dans un système PLM

## Évaluer

Cette étape, dont l'objectif est d'évaluer le processus de développement et l'usage des entités intervenant dans ce dernier, sera traitée dans la section suivante. Afin d'évaluer le processus de développement au sein d'un système PLM, nous proposerons un modèle d'évaluation.

L'analyse des objectifs et des indicateurs semble approprié pour caractériser le processus de développement. Les objectifs sont destinés à représenter les attentes et les indicateurs sont des outils pour vérifier si les résultats sont en ligne avec les attentes. Dans de nombreux cas, l'objectif n'est pas les seuls éléments de flux de processus. En fait, certains objectifs sont difficiles à mesurer.

## Adapter - mettre à jour

La modélisation d'un système PLM n'est pas figée dans le temps. Le système doit d'être agile et doit pouvoir évoluer dans le temps. Lorsque l'on parle d'adaptation et de mise à jour du système, nous distinguons deux types d'évolutions :

- évolutions à court terme. Par évolution à court terme, on entend des évolutions et adaptations qui interviennent à la suite de la mise en production d'un système PLM. Après le déploiement d'une solution PLM, une phase d'adaptation est nécessaire pour réajuster le système. Il n'est pas rare de constater que le système envisagé est trop rigide ou au contraire trop souple.
- évolutions à moyen ou long terme. Dans les cas où les restructurations (concentration, délocalisation d'unités, ..) sont de plus en plus courantes, elles impactent fortement la gestion des systèmes d'information. Un système d'information agile se caractérise alors par sa capacité à fournir une réponse optimale à l'évolution de l'organisation qu'il instrumente :
  - d'une part, une granularité trop grosse doit être compensée par une charge additionnelle appliquée aux ressources humaines ;
  - d'autre part, des adaptations trop fréquentes du système d'informations représentent, non seulement un coût prohibitif, mais souvent un facteur de déstabilisation.

### 5.2.4 Niveau connaissance

L'objectif de nos travaux est de s'appuyer sur la phase de déploiement d'un système PLM, précédemment décrit, pour mettre en exergue les besoins de capitalisation des connaissances. Nos travaux ont pour ambition de mettre en évidence les besoins de capitalisation d'une entreprise en lien avec le cycle de vie du produit, de les formaliser et de les utiliser par le biais du système. En effet, comme nous l'avons exposé dans la problématique, les systèmes connaissent des limites au niveau de la capitalisation des connaissances. Lorsque l'on parle de données - informations - connaissance, une distinction forte est faite entre ces trois termes. Aujourd'hui, si l'on se base sur ces définitions, on constate que les systèmes PLM ne gèrent que des données/méta-données, informations et n'ont pas vocation à gérer des connaissances.

Le schéma (fig. 5.7) montre que le niveau information et le niveau connaissance ne sont pas déconnectés et se réalisent de manière conjointe. En effet, le point de départ pour mettre en évidence les besoins de capitalisation des connaissances reste le même : les processus métiers de l'entreprise. L'approche proposée pour cette deuxième phase se décompose également en 4 étapes : Identifier et formaliser, Modéliser, Instancier, Evaluer.

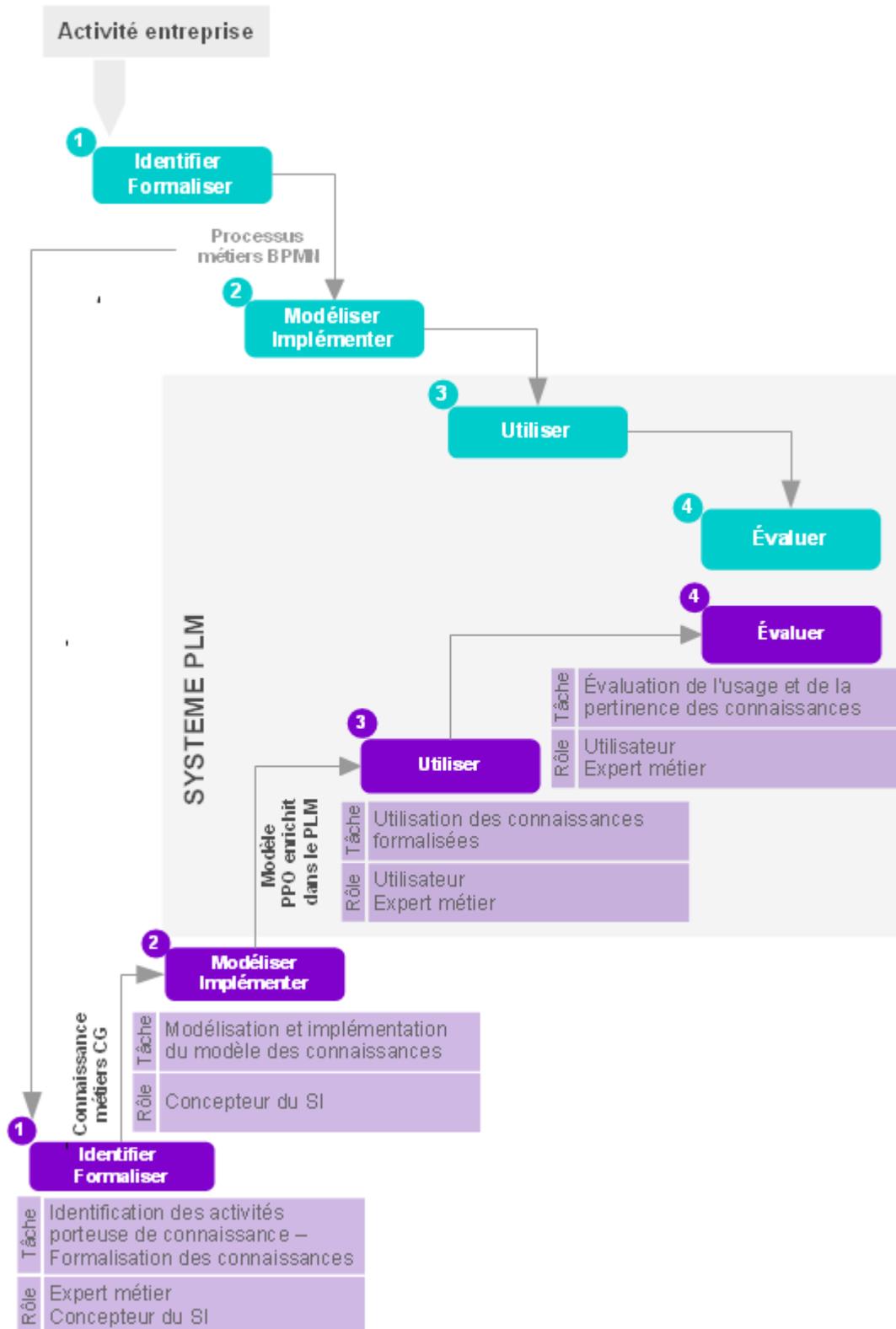


FIGURE 5.7 – Démarche d'intégration des connaissances

Identifier et formaliser

Lorsque l'on parle d'identification et de capitalisation des connaissances, on fait très souvent référence, dans la littérature, à des méthodologies telles que nous les avons présentées dans le chapitre 3. Ces méthodologies sont peu adaptées à nos travaux. En effet, ce sont des méthodes globales de capitalisation qui ne sont pas dans une logique d'intégration dans un système d'informations. D'autres part, dans un contexte de PME/PMI, elles sont complexes à mettre en œuvre car elles supposent de parfaitement les maîtriser. Pour cette raison, nous n'utilisons aucune de ces méthodologies mais proposons une démarche en adéquation avec nos besoins et faisons intervenir comme données d'entrées les processus métiers précédemment formalisés en BPMN.

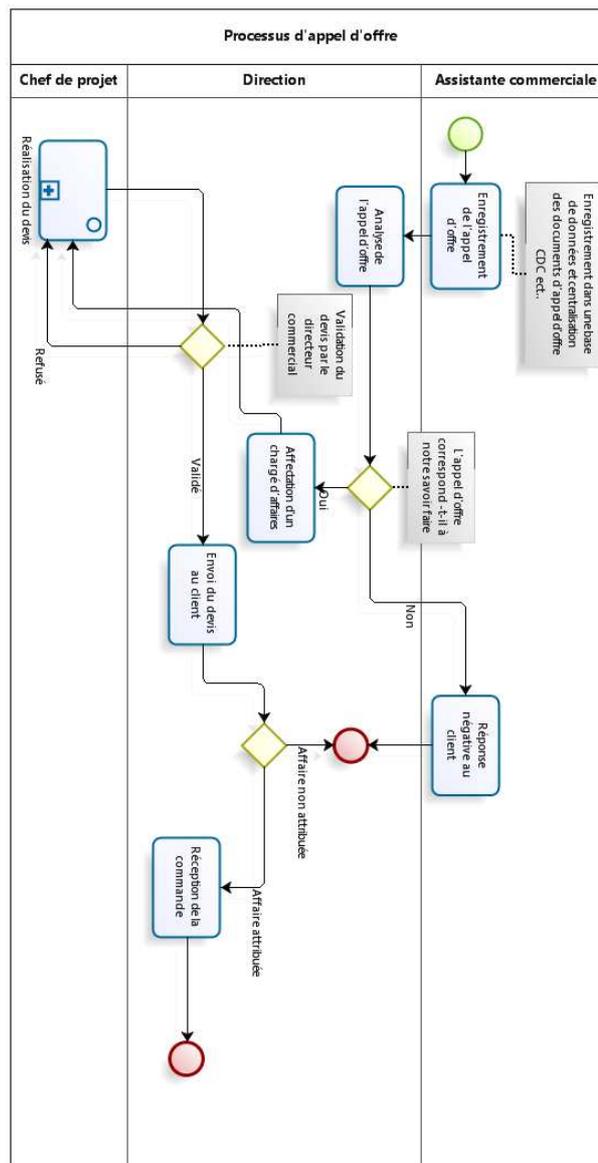


FIGURE 5.8 – Exemple de processus de gestion des appels d'offre dans le secteur de la plasturgie

Cette étape requiert l'intervention d'un concepteur du système d'informations et d'un expert

métier. Le rôle de l'expert métier est d'identifier les activités des différents processus pour lesquelles il y a un besoin de capitalisation des connaissances. Si nous prenons comme exemple le processus de gestion des appels d'offre d'une activité de plasturgie (fig. 5.8), on estime que la première tâche consistant à enregistrer l'appel d'offre dans le système PLM, ne requiert pas de connaissances particulières. En revanche, l'activité consistant à réaliser un devis nécessite une expertise et probablement des besoins de capitalisation.

Une fois une activité identifiée, une analyse approfondie met en évidence les entités porteuses de connaissance. L'activité "réalisation du devis" montre que les besoins de capitalisation ne sont pas nécessaires sur la globalité de l'activité mais sur des points précis. Il n'y a par exemple aucun intérêt à capitaliser les prix sur les matières car ils ne demandent pas d'expertise et fluctuent en fonction du marché. En revanche, l'estimation du prix d'un outillage nécessite l'intervention d'un expert. La formalisation de cette connaissance va mettre en évidence des paramètres provenant de la pièce, de la matière, etc. qui interviennent dans la définition de l'estimation. Ce sont ces entités que nous appelons "entités porteuses de connaissance".

De manière générale, nous pouvons définir ce terme comme une classe d'objet ou attribut d'une classe d'objet intervenant dans la formalisation d'une connaissance.

L'objectif de cette étape est de mettre en évidence des classes d'objets ou attributs de classe d'objet porteuses de connaissance absentes du modèle de données précédemment défini. Cela va nous permettre de remettre à niveau le modèle de données et ainsi l'enrichir avec les "paramètres" dont nous avons besoin car intervenant dans une connaissance formalisée.

## Modéliser

En ce qui concerne la modélisation des connaissances, parmi les formalismes de représentation des connaissances présentés chapitre 3, nous avons orienté notre choix vers le modèle des Graphes Conceptuels pour les raisons suivantes :

- de nombreux travaux ont été déjà faits et d'autres sont en cours. Plusieurs améliorations sont faites depuis la première version de ce modèle ce qui le rend plus performant pour la représentation des connaissances,
- les graphes conceptuels allient le pouvoir d'expression de la langue naturelle avec le formalisme de la logique c'est-à-dire qu'ils sont très efficaces en analyse du langage naturel ce qui est adapté à notre objectif, à la différence des autres modèles,
- l'un des aspects important réside également dans le fait de trouver un outil permettant de rendre notre ontologie opérationnelle et incluant un moteur d'inférence. De Nombreux outils comme CharGer, CoGui/CoGiTant et TooCoM/CoGiTant possèdent ces caractéristiques.

## Évaluer

L'évaluation de la connaissance va permettre de déterminer si les connaissances formalisées sont adaptées ou non aux besoins des acteurs. En effet, si la finalité de l'analyse des exigences est "d'accéder aux besoins des utilisateurs", la finalité de l'évaluation est de régler le système pour garantir qu'il satisfasse les besoins des utilisateurs [Tho96].

Pour bien évaluer un système, il est nécessaire de décider si le système satisfait ou ne satisfait pas les besoins ou les exigences que l'on a identifiés et d'estimer les points positifs ou négatifs des mémoires. Les critères et les mesures d'évaluation participent à ce moyen. Cette étape dont l'objectif est d'évaluer les connaissances générées au cours du processus de développement sera traitée dans le chapitre suivant. Un modèle d'évaluation sera proposé.

### Adapter - mettre à jour

Les connaissances évoluent dans le temps ; il faut prévoir de les actualiser suite à une évaluation, les mettre à jour et les enrichir au fur et à mesure des retours d'expériences et de la création de connaissances nouvelles.

Des systèmes non maintenus ne peuvent espérer garder un état sain dans le temps. Il faut donc les améliorer et les mettre à jour afin de rester en accord avec l'environnement de l'entreprise.

Le système visant à modéliser les connaissances et les coupler au système PLM devra être souple, afin de permettre un expert métier de créer de nouvelles règles assez simplement.

## 5.3 Modèle pour l'évaluation du système d'information produit

La méthodologie MPPI propose une modélisation du système PLM à deux niveaux : information et connaissance. Chacun de ces deux niveaux se décompose en 4 sous étapes : identification, modélisation, utilisation et évaluation.

Le dernier axe de notre approche consiste donc à évaluer le système modélisé. L'étape d'évaluation permet de valider et de suivre la faisabilité des processus métiers dans le système PLM. Les indicateurs obtenus permettront de valider et d'adapter le cas échéant le système modélisé.

### 5.3.1 Niveaux d'analyse

Le modèle d'évaluation que nous proposons, d'un point de vue information, a pour objectif d'évaluer les trois composantes du système d'information produit : les composantes produit, process et organisation. A ce modèle, nous ajoutons la composante connaissance que nous avons intégrée dans le système afin d'évaluer sa pertinence.

Le modèle d'évaluation introduit donc deux niveaux d'analyse :

**Le niveau information.** Au cours de la phase de déploiement, le modèle de données est défini afin d'être le plus en adéquation possible avec l'organisation de l'entreprise. Nous proposons une démarche permettant d'évaluer la stabilité du système modélisé à posteriori. Cette approche ne permet pas d'anticiper et de prévenir les problèmes liés à la modélisation, mais elle permet d'analyser et de détecter les problèmes au fur et à mesure de leur arrivée au cours de la phase d'utilisation du système.

Le modèle d'évaluation de ce niveau information va exploiter les historiques d'utilisation du système en s'appuyant sur les traces. Les fichiers .log du système contiennent l'ensemble des actions effectuées sur le serveur PLM. Les éléments observés ne sont pas directement exploitables et doivent faire l'objet d'une interprétation.

**Le niveau connaissance.** Nous avons expliqué dans le chapitre 3 que la connaissance correspond à une somme d'informations qui prend une signification dans un contexte donné. Le point central de notre démarche consiste à formaliser les connaissances et à utiliser le système PLM de manière à se servir des informations et données qu'il gère.

Pour proposer un modèle d'évaluation des connaissances, nous avons identifié deux possibilités : utiliser les objets du système ou utiliser l'avis d'utilisateurs ou d'experts pour l'évaluation de certains indicateurs.

La première alternative consiste à proposer des indicateurs pour évaluer de manière globale les connaissances et plus particulièrement les règles métiers utilisées dans le système. Par globale, on entend évaluer le processus, ainsi que l'activité qui a nécessité une formalisation de connaissance. On souhaite ainsi savoir si le processus en question est plus performant lorsqu'il fait référence à une connaissance formalisée.

La deuxième alternative consiste à utiliser le jugement des utilisateurs et/ou experts pour évaluer certains des indicateurs de connaissance. Les experts de part leur connaissance et leur expérience sont à même de juger et d'évaluer les différences entre le résultat des connaissances formalisés et les résultats du terrain.

Cette alternative a l'avantage de prendre en considération les connaissances tacites, issues de l'expérience terrain des experts. Les experts ne sont pas en mesure de formaliser ces connaissances tacites; en revanche, ils peuvent s'en servir pour indiquer si le système contient ce type de connaissances.

Le schéma ci dessous (fig. 5.9) correspond au modèle d'évaluation des deux d'analyse : informations et connaissances.



- le système de droits, les vues métiers représenté par Rôle,
- les modèles de processus représentés par processus métiers.

A ce niveau, les indicateurs utilisés se limitent à des indicateurs quantitatifs.

- D'un point de vue de la connaissance, le modèle d'évaluation mesurera différents éléments :
- les "K activité" qui représentent les activités identifiées comme porteuse de connaissance. Cette évaluation a pour but de mesurer la performance de l'activité et donc la performance du processus global lorsque des connaissances formalisées sont utilisées. Cette évaluation est couplée avec celle des objectifs fixés pour le processus ;
  - les "K classe" qui correspondent aux classes qui stockent le résultat issu de la règle métier. Pour cette évaluation, nous proposons des indicateurs qualitatifs (delta entre l'estimation proposée par la règle métier et celle de la mesure constatée sur le terrain) ainsi que des indicateurs qualitatifs (appréciation donnée par l'utilisateur et l'expert métier sur l'estimation et le delta entre l'estimation et le réalisé) ;
  - les "k règle métier" qui correspondent aux classes contenant la règle métier formalisée. Nous souhaitons sur ce point évaluer les modifications réalisées sur la règle métier mais également évaluer l'usage de la règle.

### 5.3.2 Proposition d'indicateurs

#### A - Le modèle d'indicateurs d'un point de vue information

Le modèle d'évaluation propose d'apprécier la qualité du système en prenant en considération le niveau information. Il s'agit finalement de savoir si le système modélisé est fiable dans le cadre d'analyse que nous avons défini et le cas échéant l'adapter.

A titre d'exemple, citons quelques erreurs classiques :

- une mauvaise répartition des tâches et des responsabilités, ainsi qu'une limitation des droits d'accès peuvent causer des réticences à l'utilisation du système,
- une formalisation des processus assez rigide peut engendrer des problèmes pour modéliser ce dernier dans le système.

Nous proposons donc un ensemble d'indicateurs permettant d'observer la robustesse du système et limiter la réticence des utilisateurs liées à un système incohérent.

Les indicateurs en lien avec les informations doivent évaluer le système d'un point de vue PPO - Produit, Process, et Organisation en s'appuyant sur les capacités intrinsèques de traçabilité des systèmes PLM.

La traçabilité liée au "modèle de Processus" qui consiste à conserver un ensemble de traces, assure un rôle majeur au sein des systèmes PLM. Ces traces correspondent aux modifications d'état des éléments du processus. Il s'agit de sauvegarder tous les états de toutes les activités ainsi que les conditions de changement de ces états.

La traçabilité liée au "modèle de Produit" s'effectue suivant deux modes. Le premier mode concerne l'historisation des objets. Le second mode de traçabilité concerne les interactions qui ont eu lieu sur ces objets et dont certaines vont donner lieu à des changements d'états. Ce mode résulte donc des activités au sein du système.

Ce premier ensemble d'indicateurs est basé sur l'analyse des traces et de l'historique du système PLM cible. Il fait ainsi référence aux actions qui sont réalisées au sein de ce système. Nous notons quatre types d'actions sur lesquels nous proposerons des indicateurs : la création, la modification, la suppression et l'ajout.

**Le point de vue Produit.**

L'évaluation du modèle Produit consiste à analyser sa cohérence. L'objectif est de savoir si le modèle proposé dans le système est performant. Nous souhaitons utiliser les indicateurs pour faire un constat à posteriori. Nous évaluerons ici principalement les actions sur les classes d'objets et les cycle de vie des classes d'objets en lien avec le produit. Les indicateurs présentés proposent d'évaluer uniquement les classes d'objets et non les objets directement. Ce que nous souhaitons évaluer concerne le modèle produit du système et non la manière dont il est utilisé.

Nous proposons ci-dessous des indicateurs évaluant l'aspect "Produit" du système.

**Nombre de modifications ou d'ajouts sur les classes d'objets.** Pour chacune des classes d'objets présentes dans le système, le nombre de modification ou d'ajout sur les classes d'objets permet d'évaluer si le modèle paramétré correspond à la réalité de l'entreprise. La fréquence de modification sur les classes d'objets permet de mesurer la cohérence du système par rapport à l'organisation de l'entreprise.

**Nombre de modifications des cycles de vie.** Chacune des classes d'objets du système possèdent un cycle de vie. Un nombre trop important de modification des cycles de vie couplé à un tendance (augmentation ou diminution globale) mettrait en évidence une modélisation trop spécifique ou trop généraliste.

**Nombre de modifications sur les classes de liens.** Les objets sont reliés entre eux par l'intermédiaire de classes de liens. Le modèle proposé et paramétré dans le système doit être suffisamment exhaustif pour prévoir tous les cas de figures. Un nombre trop important de modifications sur les classes de liens mettra également en exergue une incohérence de modélisation.

**Le point de vue Process**

L'évaluation du modèle "Process" consiste à vérifier la cohérence des modèles de processus identifiés. Nous ne souhaitons pas ici vérifier si les objectifs fixés au travers de l'instanciation des processus sont réalisés, mais nous souhaitons évaluer le modèle en tant que tel.

Nous proposons d'évaluer les processus en observant les modifications apportées aux modèles, mais également la fréquence d'utilisation par le biais des instanciations.

Nous proposons ci-dessous des indicateurs évaluant l'aspect "Process" du système.

**Nombre de modifications d'un modèle de processus.** Pour chacun des processus modélisés dans le système, le nombre d'interventions visant à modifier le modèle montre une défaillance de ce dernier. En effet, si l'indicateur de modification d'un modèle de processus est élevé, cela signifie que ce dernier n'est pas stable. La raison à cela peut-être double :

- l'organisation prévue par l'entreprise est trop rigide et ne permet pas de prévoir tous les cas de figures rencontrés sur le terrain ;
- ou alors le modèle de processus prévu dans le système PLM est en cause. Une rigidité du système de workflow du PLM peut empêcher l'entreprise de modéliser son processus tel qu'il existe.

**Fréquence d'utilisation d'un modèle de processus.** Chaque processus du système vise à être instancié. Une évaluation des fréquences d'utilisation peut mettre en évidence un modèle peu adapté. En effet, si le processus est trop rigide, par rapport à la réalité de fonctionnement de la société, il risque de ne pas ou peu être utilisé. Cette indicateur permettra de juger de la pertinence du modèle et le cas échéant de l'adapter.

**Nombre d'arrêt de processus.** Dans la totalité des cas, il est donné à un utilisateur la possibilité d'arrêter(ou de ne pas exécuter) un processus associé à un cycle de vie. Le comptage de ces arrêts permet de mettre en évidence un problème de rigidité sur le processus.

### **Le point de vue Organisation.**

L'évaluation du modèle "Organisation" va permettre d'analyser la logique du paramétrage en terme de politique d'accès sur les classes d'objets. Des indicateurs élevés mettront en évidence une mauvaise analyse en amont de la politique de droit d'accès. L'une des fonctionnalités fondamentales des systèmes PLM réside dans la possibilité de filtrer les accès à des données confidentielles.

Les systèmes PLM permettent à tous les interlocuteurs qui interviennent tout au long du cycle de vie du produit de visualiser les données et documentation technique, selon leur activité, avec une vue métier spécifique. Les droits d'accès évoluent dynamiquement en fonction de l'état d'avancement des projets et une gestion logicielle personnalisée des modifications et des changements de version garantit le respect des procédures courantes dans votre entreprise.

Afin d'évaluer l'aspect "Organisation", nous proposons les indicateurs suivants :

**Nombre de modifications de la politique d'accès.** La politique d'accès des systèmes PLM permet de gérer les droits en fonction du trinôme : rôle - classes - statuts. Cette définition se réalise principalement sur 4 actions majeures : création, modification, visualisation, suppression. Une définition aussi fine des droits est un exercice relativement compliqué pour une entreprise. La tendance à construire un schéma trop stricte peut devenir un frein à la collaboration et favoriser la réticence des utilisateurs. A contrario un système trop permissif fait perdre de l'intérêt aux systèmes PLM qui se veulent sécurisés. Un travail de réflexion doit amener l'entreprise à trouver le juste milieu.

**Nombre de modifications et nombre d'ajout de vues métiers.** Au même titre que la politique de droits qui intervient sur les classes d'objet du système, les systèmes proposent de définir des vues métiers. Ces vues métiers permettent de restreindre la vue des attributs sur une classe d'objet. Il est essentiel de faire en sorte que chacun ait à sa disposition la vue métier avec les attributs qui le concerne. L'intérêt de ces vues métiers est double : améliorer la lisibilité et assurer la confidentialité. L'indicateur proposé garde le même objectif que le précédent. Il nous donnera une indication quant à la pertinence des vues métiers définies lors de la phase de modélisation.

## **B - Le modèle d'indicateurs d'un point de vue connaissance**

Le second modèle d'évaluation que nous proposons se positionne d'un point de vue de la connaissance. Il s'agit ici d'apprécier les connaissances formalisées dans le modèle, ainsi que les résultats fournis par l'utilisation de ces dernières. La finalité de ce modèle d'évaluation est d'obtenir un système comportant des connaissances robustes et fiables. Les connaissances sont modélisées et utilisées dans un contexte qui évolue. Ces évolutions affectent les technologies, les savoir-faire, les produits et leur utilisation dans un environnement donné.

Le départ d'un expert de l'entreprise, l'introduction d'un nouvel outil dans l'entreprise sont des exemples d'évènements qui influent sur l'évolution du contexte d'utilisation et de modélisation des connaissances.

Notre cadre d'étude se limite à une formalisation de règles métiers et en particulier de règles de production. L'utilisation de cette connaissance formalisée donne en sortie une estimation purement théorique. Nous proposons dans ce modèle d'évaluer ce résultat théorique par rapport à un résultat issu du terrain. Le modèle d'évaluation proposé est le suivant et repose sur la méthodologie MPPI.

La formalisation de cette connaissance sous forme de graphes nous permet d'identifier plus aisément des éléments porteurs de connaissance. Ces éléments, après analyse, seront transposés afin d'être utilisés dans le modèle de données du système PLM. Ils feront ainsi l'objet d'un ajout de nouvelles classes ou d'attributs supplémentaires de classes existantes dans le modèle de données produit défini.

### 5.3. Modèle pour l'évaluation du système d'information produit

L'application de la méthodologie MPPI a permis d'enrichir le système avec de nouvelles classes en lien avec l'aspect connaissance. Il s'agit maintenant de proposer un modèle permettant d'évaluer de manière globale ce modèle. Nous souhaitons évaluer la robustesse des connaissances au cours de leur exploitation dans le système. Nous proposons de nous appuyer sur les activités enregistrées autour du système. L'origine de ces activités peut être variable.

Nous différencions deux types d'activités :

- les activités inhérentes à l'entreprise. Il s'agit des activités générées lors de l'exploitation du système PLM,
- les activités liées à la demande explicite faite dans le but d'évaluer la robustesse des connaissances. Il s'agit de faire intervenir des utilisateurs ou experts dans le but de fournir des informations nécessaires à l'évaluation.

Notre approche propose d'évaluer le modèle sur trois aspects :

- le premier aspect concerne l'impact sur le processus en question de l'utilisation des connaissances formalisées dans le système. Cette évaluation est directe et se mesure par le biais d'indicateurs que nous détaillerons par la suite.
- le second aspect que nous proposons d'évaluer s'intéresse au résultat issu de l'utilisation de la règle métier. Les indicateurs issus de cette évaluation nous permettront ensuite d'évaluer de manière indirecte la règle métier,
- le troisième aspect vise à apprécier la fiabilité de la règle métier. Les indicateurs en rapport avec cet aspect s'organisent en deux catégories. La première catégorie consiste à utiliser les traces du système pour évaluer les actions réalisées sur l'objet comportant la règle. En revanche, la deuxième catégorie est indirecte, puisqu'elle s'appuiera sur les indicateurs évaluant le résultat issu de l'utilisation de la règle. Cette deuxième catégorie nécessite l'intervention d'un expert qui, à partir des indicateurs qui lui sont présentés, donnera une appréciation qualitative.

Les paragraphes suivants présentent ces différents indicateurs.

#### **Impact de l'exploitation des connaissances sur le processus**

Il est question à ce niveau de mesurer les performances du processus. Il s'agit de mettre en évidence l'impact de l'utilisation de connaissances formalisées dans le système sur le processus. Nous souhaitons éventuellement déduire un lien de causalité entre la formalisation des connaissances et la performance du processus. Est-ce que l'exploitation par un utilisateur d'une connaissance formalisée au sein du système PLM améliore la performance du processus ?

Nous proposons deux types d'indicateurs. Le premier consiste à effectuer des mesures en terme de temps d'exécution sur le processus mais également sur l'activité ayant recours à une règle formalisée. Il s'agit finalement de prendre en considération les délais de réalisation de l'activité et du processus dans un environnement PLM classique et ceux qui sont réalisés lorsque l'utilisateur exploite la connaissance formalisée.

A partir de cette mesure, il nous sera possible de quantifier le gain de temps pour l'utilisateur. On peut supposer que si le système centralise toutes les informations nécessaires au calcul de sa règle de production, et qui plus est, lui donne une estimation, ceci va engendrer une meilleure efficacité d'un point de vue temporel du processus.

Le second type d'indicateurs analyse les atteintes sur les objectifs. Comme nous l'avons présenté dans le modèle (fig. 5.9), à chaque processus nous associons un objectif schématisé par la classe "Objectifs". Il s'agit, pour cet indicateur, de mesurer l'atteinte des objectifs lorsque l'utilisateur utilise le système PLM de manière basique et lorsqu'il utilise la connaissance formalisée au sein du système. La différence entre ces deux indicateurs permet de confirmer ou d'infirmer la tendance mesurée par l'indicateur précédent.

### Résultat issu de la connaissance

Nos travaux sont axés sur une formalisation de règles métiers, desquelles nous déduisons un résultat. Il nous importe d'évaluer le résultat déduit de la règle et proposé à l'utilisateur. Nous avons choisi de faire un lien entre la solution proposée par le système et le résultat constaté lors de la production. Ce delta nous donnera une indication précieuse, qui en revanche exploitée seule, n'est pas suffisamment pertinente. Certains aléas intervenant au cours de la production peuvent venir perturber ce delta.

A ce titre, nous introduisons une analyse qualitative, à priori et à postériori, de l'utilisateur. Ces indicateurs ont pour objectif de représenter le jugement des utilisateurs vis à vis de la qualité du résultat qui leur est proposé.

Si l'on s'attache à l'analyse à priori de l'utilisateur, il s'agit de comparer la représentation interne des connaissances que possède l'utilisateur, à la représentation des connaissances contenues dans le système. Nous évaluerons ainsi la connaissance au travers le jugement de l'expert. Il s'agit de donner une indication sur la cohérence du résultat.

La deuxième approche consiste à faire une analyse a posteriori. Nous souhaitons par le biais de cet indicateur obtenir une information qualitative. Il s'agit de demander à l'utilisateur une appréciation au sujet du delta entre le résultat estimé au sein du système PLM, et celui réalisé au cours de la production. Nous considérons que ce delta peut provenir de deux éléments.

Le premier met en cause la connaissance contenu dans la système. Dans ce cas de figure, l'appréciation qualitative nous permettra de remettre en question la règle formalisée afin de l'adapter. La deuxième hypothèse ne remet pas en cause la connaissance mais est liée aux aléas du terrain (casse d'un outil de production) qui pourraient altérer le résultat estimé par le système.

### Fiabilité de la règle métier

Cet indicateur consiste à évaluer les actions effectuées au sein du système PLM sur les classes comportant les règles métiers. Nous nous appuyons, ici, sur une exploitation des fichiers de journalisation et une analyse des informations contenues dans la base de données.

Nous avons identifié deux types d'indicateurs. Le premier consiste à mesurer le nombre de modifications réalisées sur les objets comportant les règles métiers. Le second propose d'évaluer l'usage de ces règles métiers. Afin d'obtenir des indicateurs cohérents, il est nécessaire de connaître la fréquence de sollicitation de la règle au sein du système.

## 5.4 Conclusion et discussion

Ce chapitre présente la méthode MPPI en lien avec la capitalisation des connaissances dans la phase de déploiement d'un système PLM. Elle se base sur une démarche d'analyse combinée de la conception du système et de la connaissance autour de 4 étapes clés (identifier , modéliser, utiliser , évaluer). Plutôt que de définir une n-ième méthode de capitalisation globale, nous avons opté pour une méthode imbriquée dans une réflexion qui au départ n'était spécialement destinée à la capitalisation. De fait , MPPI-KI n'est probablement pas généralisable à un autre contexte que la mise œuvre d'un système d'information centré sur le patrimoine technique. Il nous semble que cette limitation est une conséquence du contexte PME/PMI qui ne possède pas les ressources pour aller plus loin dans la capitalisation.

La quatrième étape de notre méthodologie concerne l'évaluation. Cette étape nous paraît cruciale pour la pertinence globale de la méthode. En effet, seule une vraie démarche d'évaluation permet d'anticiper les besoins d'adaptation le l'organisation globale de l'entreprise. Nous proposons un modèle d'évaluation du système qui permet de développés quelques indicateurs. Les propositions faites ne sont naturellement pas exhaustif mais la réflexion sur l'évaluation du

#### 5.4. Conclusion et discussion

Le système et des connaissances est un sujet qui dépasse le cadre de cette thèse. L'intérêt vient du fait de combiner les deux objectifs. Ainsi, les indicateurs proposés ont pour vocation d'une part d'évaluer la pertinence des modèles et d'autre part les connaissances formalisées au sein du système. L'idée clef pour les connaissances est donc une évaluation indirecte : ce ne sont pas les connaissances directes qui sont évaluées mais la pertinence de l'usage qui en est fait.



## 6

# Expérimentation et validation industrielles

## Sommaire

---

<b>6.1</b>	<b>Introduction</b>	<b>107</b>
<b>6.2</b>	<b>Cas industriel de capitalisation</b>	<b>107</b>
6.2.1	Premier niveau d'analyse	108
6.2.2	Deuxième niveau d'analyse	112
<b>6.3</b>	<b>Conclusion et discussion</b>	<b>120</b>

---

## 6.1 Introduction

La méthode proposée dans les chapitres précédents (cf chap. 4 & 5) vise à modéliser des informations et connaissances au sein d'un système PLM. Cette méthode a été validée sur une application industrielle au sein du bureau d'études de la société Marmillon et est présentée en partie dans ce chapitre<sup>11</sup>. L'activité de l'entreprise est principalement basée sur des réponses à des appels d'offres. Cependant, on constate que ce processus n'atteint pas les objectifs fixés. Les délais de réponse au client ainsi que le taux d'acceptation des devis n'est pas conforme aux exigences stratégiques.

Dans le cadre de la mise en œuvre d'un projet PLM au sein de Marmillon, nous avons choisi de concentrer notre analyse sur la modélisation de ce processus métier et sur les connaissances induites qu'il gère.

## 6.2 Cas industriel de capitalisation

Nous souhaitons ici mettre en application la démarche MPPI, plus particulièrement MPPI-KI qui se focalise sur deux niveaux d'analyse :

- le niveau information visant à modéliser le système PLM afin que ce dernier reflète le fonctionnement de l'entreprise
- le niveau connaissance visant à formaliser les connaissances à des fins d'optimisation du processus en question.

---

11. Les exemples traités sont partiels afin de respecter les contraintes de confidentialité de la société Marmillon

### 6.2.1 Premier niveau d'analyse

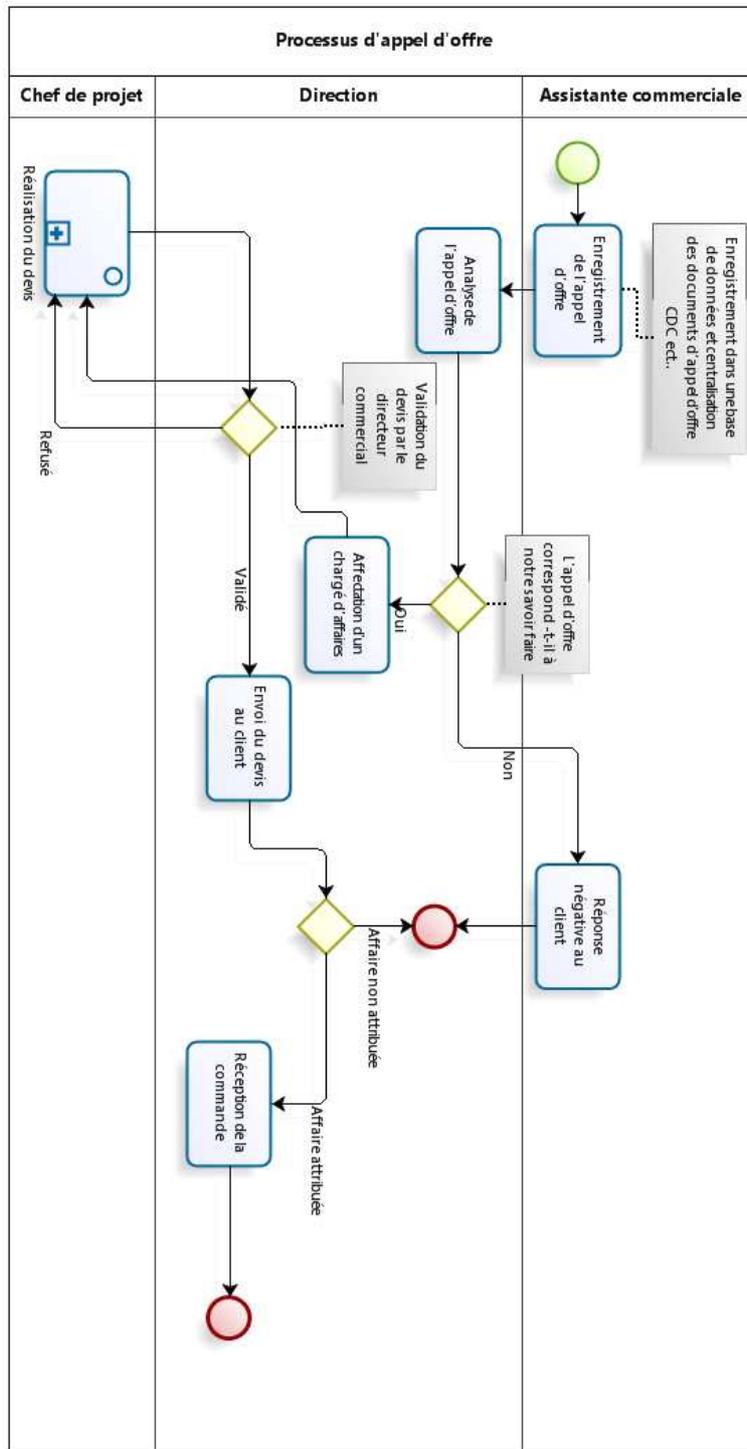


FIGURE 6.1 – Formalisation du processus d'appel d'offre en BPMN

### Identifier et formaliser

La première étape de notre méthodologie consiste à obtenir un consensus sur les processus métier. Il convient alors d'identifier le ou les processus sur lesquels on se propose de travailler et de les formaliser (BPMN correspond au formalisme que nous avons retenu pour la formalisation des processus métiers).

Dans notre application industrielle, le processus en question correspond au processus de gestion des appels d'offre. Ce dernier a pour objectif de décrire les activités permettant de traiter la réception d'un appel d'offre jusqu'à la commande client.

Comme nous l'avons précisé dans le chapitre 2, de plus en plus d'entreprises sont aujourd'hui certifiées ISO 9001. Cette norme fait partie des normes relatives au système qualité ; elle donne les exigences organisationnelles qui sont requises pour l'existence d'un système de management de la qualité. La société Marmillon, intervenant dans ces travaux en tant qu'exemple industriel fait elle-même l'objet d'une certification ISO 9001. Cette norme ISO 9001, n'impose pas de formalismes précis pour modéliser les processus métiers. Il convient donc dans cette étape soit de transcrire le processus en BPMN si ce dernier est déjà existant, soit de le formaliser directement en BPMN pour les entreprises qui n'auraient aucun référentiel.

Le schéma (fig. 6.1) représente les activités relatives au déroulement du processus d'appel d'offre. Les rôles ou experts qui interviendront pour valider les activités de ce processus métier ont été identifiés.

Ce processus de gestion de l'appel d'offre fait appel à un sous processus en lien avec la réalisation du devis qu'il nous semble également intéressant de formaliser dans notre approche (fig. 6.2). En effet, ce dernier fait appel à des éléments clés du processus de développement d'un produit, en l'occurrence dans notre exemple industriel, au développement d'une pièce plastique.

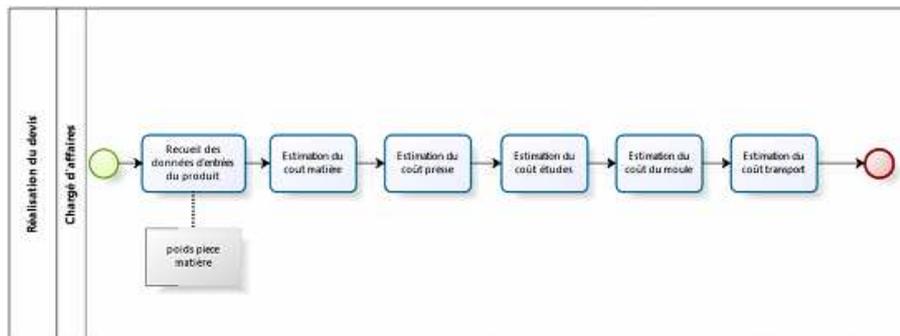


FIGURE 6.2 – Formalisation du processus de réalisation du devis en BPMN

A partir du consensus obtenu autour du processus métier en question, il convient de l'analyser afin d'en extraire les éléments clés qui devront apparaître dans le système PLM.

L'étude des activités du processus de gestion des appels d'offre et de son sous processus de réalisation du devis nous permet d'extraire les éléments clés suivants :

- appel d'offre
- devis
- commande
- pièce
- presse
- matière
- moule

- affaire

De plus, elle nous donne des indications sur les rôles nécessaire à son exécution :

- assistante commerciale,
- directeur commercial,
- chargé d'affaires.

A l'issu de cette première étape, nous avons mis en évidence, les points clefs de ce processus.

### Modéliser

Au cours de cette phase, il convient de définir une première ébauche du modèle de données du système PLM. Dans le processus précédemment modélisé, plusieurs éléments clefs explicites ont été identifiés : l'appel d'offre, le devis, la commande, ... Ces éléments peuvent être répartis en deux catégories de classes :

- la première correspond à ce que l'on peut appeler des classes dites "documentaires" auxquelles seront rattachés des fichiers : appel d'offre, devis, commande.
- la deuxième fait référence à des classes que l'on définira comme des classes structurantes qui stockeront des données : affaire, moule, pièce, matière, presse. Ces classes constitueront l'ossature de notre affaire au sein du système.

Par la suite, il s'agit de définir les relations et le type de lien. Pour notre application nous avons identifié deux types de lien : "possède" et "est documenté par". Le lien "possède" sera utilisé entre les objets dits "structurants", alors que le lien "est documenté par" sera utilisé pour les objets dits "documentaires". Ainsi on aura des relations du type "une affaire *possède* une pièce", "une pièce *est documenté par* un appel d'offre", etc.

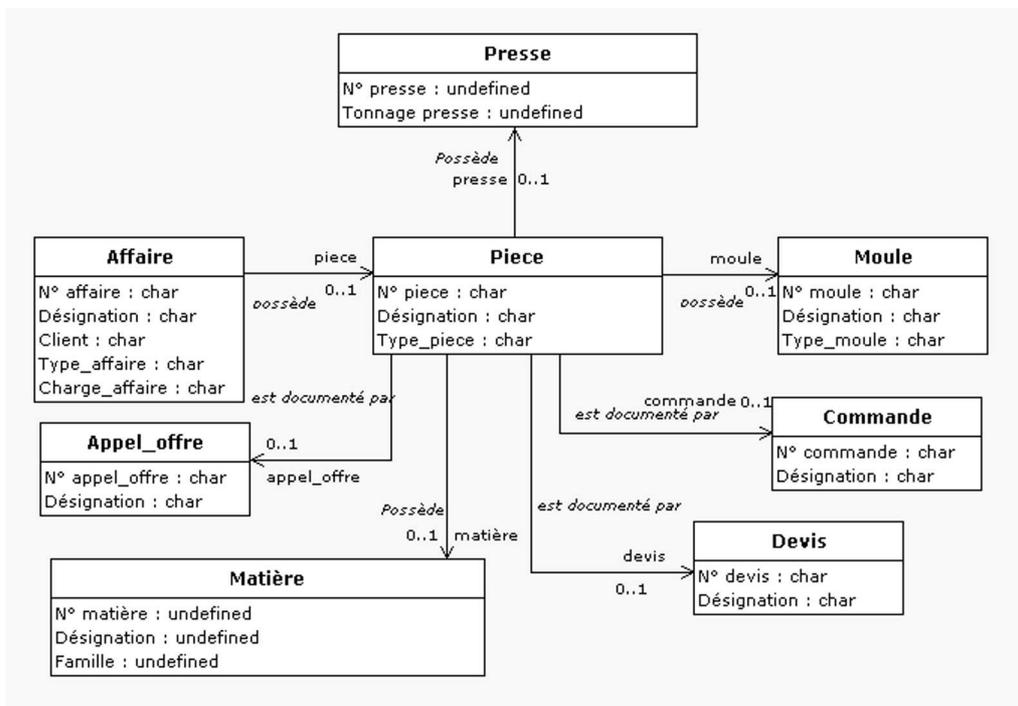


FIGURE 6.3 – Diagramme de classe du modèles de données

Enfin, Il convient dans un troisième temps de construire les espaces d'états des classes précédemment identifiées. Cet espace d'état correspond aux enchainements des différents états que va prendre l'objet durant son cycle de vie.

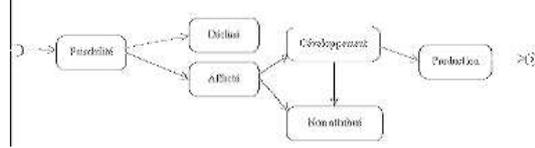


FIGURE 6.4 – Exemple d'espace d'états de la classe Affaire

En fonction, des rôles définis au préalable, des classes d'objet, ainsi que des espaces d'état, il convient de définir le niveau de droit de chacun des rôles, pour chaque état de maturité de chacune des classes.

Cette étape a consisté à établir les différents modèles du système. Classes d'objets, associations entre les classes, espace d'états, droits, processus, sont autant d'éléments identifiés précédemment qui seront paramétrés dans le système via un module d'administration.

### Utiliser/Instancier

Une fois modélisé, le système est testé aux moyens de jeux d'essai. Ces jeux d'essai servent à s'assurer que le système peut être utilisé en production. Ils permettent également de mettre en évidence des incohérences et les corriger. Le système est ensuite mis à disposition des utilisateurs.

Les classes sont instanciées, afin de créer des objets. Les utilisateurs se servent du système pour stocker les données : poids de la pièce, matière utilisée, ect., mais également les documents : données CAO, appel d'offre, devis, Dossier d'Assurance Qualite Produit (DAQP), ect. Toutes les informations sont ainsi à disposition des employés de l'entreprise. Les objets de part leur statut et leur version offrent la possibilité d'une traçabilité et confèrent à l'utilisateur la bonne information. Selon le profil de l'utilisateur et des droits définis, chaque utilisateur a la vision sur les éléments le concernant.

D'un point de vue des processus, les modèles sont instanciés et un suivi des activités est réalisé. Chaque personne est ainsi à même de connaître l'état d'avancement du projet en se référant aux processus instanciés. Lors de l'instanciation, les ressources sont affectées à chaque activité ainsi les utilisateurs sont informés des tâches leurs incombant via une notification automatique par e-mail.

### Évaluer

Toutes activités dans le système sont recensées dans la base de données. Notre modèle d'évaluation va s'appuyer et analyser le système ainsi que les traces générées. Comme nous le proposons au travers du chapitre 5, nous évaluons le modèle défini par notre approche. L'objectif est de réaliser un constat sur les modifications apportées au modèle sur plusieurs point de vue : produit, processus, organisation.

Pour chacun de ces trois points, nous mesurons les modifications réalisées sur les modèles. Au travers d'une analyse des fichiers de journalisation et d'informations contenus dans la base de données, nous analysons les éventuels ajouts, modification ou suppression qui ont pu être effectués au niveau des classes d'objets, des systèmes de droits, des statuts et des modèles de processus.

Cette analyse est à posteriori et nous permet d'obtenir une appréciation sur l'application de notre méthodologie. Cette évaluation a pour but de valider notre approche, et le cas échéant de proposer des axes d'amélioration afin de définir un modèle de données le plus cohérent possible.

### 6.2.2 Deuxième niveau d'analyse

Cette deuxième grande phase de notre méthodologie vise à identifier et formaliser des connaissances en s'appuyant sur la phase de déploiement du système qui correspond, dans notre approche, au niveau information.

Ces deux grandes phases se réalisent conjointement. Le point de départ, pour mettre en évidence les besoins de capitalisation des connaissances, reste le même : les processus métiers de l'entreprise. Cette phase se décompose également en quatre étapes ( identifier et formaliser, modéliser, utiliser et évaluer).

#### Identifier et formaliser

En partant du processus formalisé (fig. 6.1), il convient d'identifier les activités à forte valeur ajoutée nécessitant des besoins en capitalisation.

Dans ce processus, la "réalisation du devis" est une activité nécessitant un fort niveau d'expertise. L'analyse du support de devis de la société permet de classer les informations en trois catégories :

- des paramètres de gestion ;
- des tarifs fournisseurs ;
- des estimations.

Les connaissances intéressantes à capitaliser se situent dans cette troisième catégorie appelée "estimations". En effet, ces estimations réalisées par la personne en charge du devis nécessitent une expertise et une connaissance métier.

Dans notre application industrielle, nous avons choisi de cibler notre analyse sur l'estimation du temps de cycle, temps nécessaire pour injecter une pièce plastique. Le calcul de ce temps de cycle est fonction de divers paramètres notamment de la pièce, de la matière etc..

Au travers de la formalisation de cette règle métier, nous souhaitons mettre en exergue les informations à capitaliser qui interviennent dans le calcul du temps de cycle.

La formalisation du processus d'appel d'offre nous a permis d'identifier les acteurs/rôles qui interviennent tout au long de ce processus. Dans une seconde étape, nous avons classifié ces fonctions en attribuant un niveau d'expertise. Cette démarche permet de dissocier les activités nécessitant des compétences spécifiques. Ainsi, ces compétences (et les acteurs qui y sont associés) vont être sollicitées pour la formalisation de la règle métier.

La formalisation des règles métiers a pour objectif de mettre en avant les besoins de capitalisation sur des éléments qui aurait pu être oubliés dans le modèle de données et qui interviennent dans la règle. Cette étape de formalisation consiste à enrichir le modèle de nouvelles classes d'objets ou de nouveaux attributs. Ces règles vont permettre de réutiliser les connaissances. Dans le cas de notre exemple, l'objectif est de proposer à l'utilisateur un temps de cycle en utilisant la base de données du PLM.

A la suite de l'interview d'un expert métier, nous avons pu identifier la règle permettant d'estimer le temps de cycle nécessaire à la production d'une pièce. Le temps de cycle ( $T_c$ ) correspond à la somme du temps d'injection ( $T_i$ ), du temps de solidification ( $T_s$ ) et du temps de cycle à vide ( $T_{c\grave{a}v}$ ).  $T_i$ ,  $T_s$  et  $T_{c\grave{a}v}$  sont eux même le résultat de calcul que nous avons identifié (fig. 6.5) (fig. 6.6).

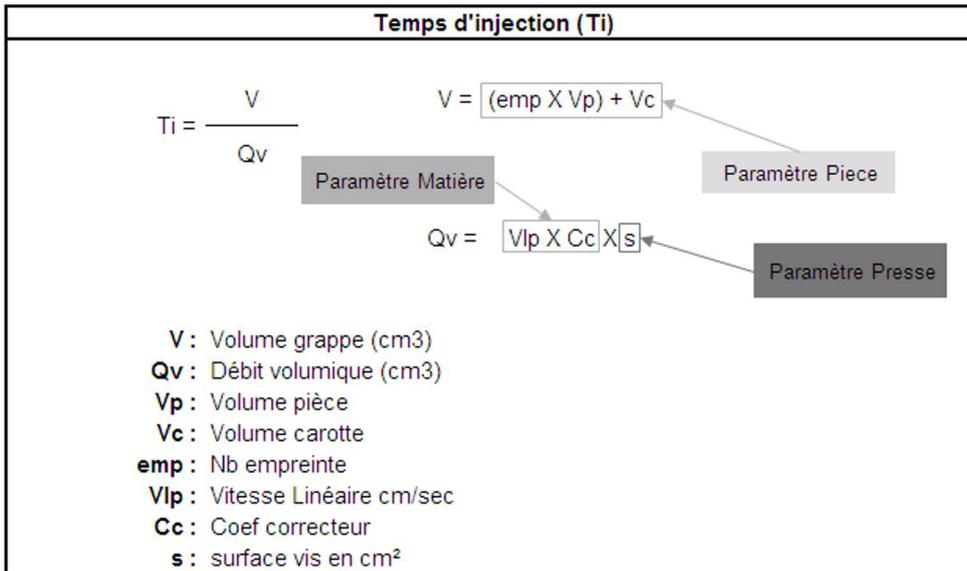


FIGURE 6.5 – Calcul du temps d'injection

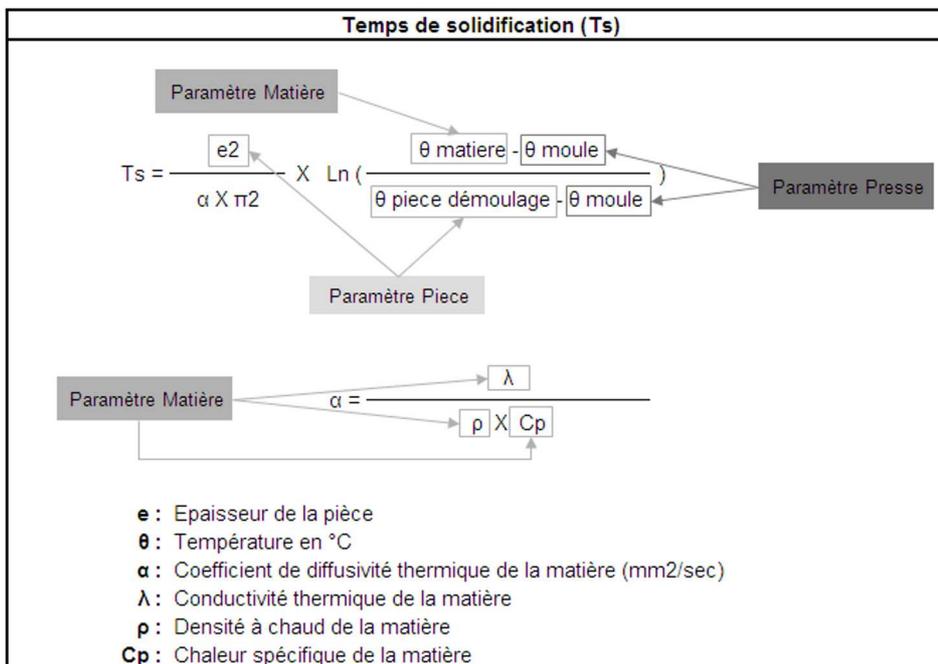


FIGURE 6.6 – Calcul du temps de refroidissement

**Modéliser**

Les interviews et le recueil d'informations auprès des experts permettent d'identifier les grands concepts intervenant dans cette règle métier. Ces concepts (fig. 6.7) nous serviront dans la représentation de notre règle métier sous forme de graphe conceptuel.

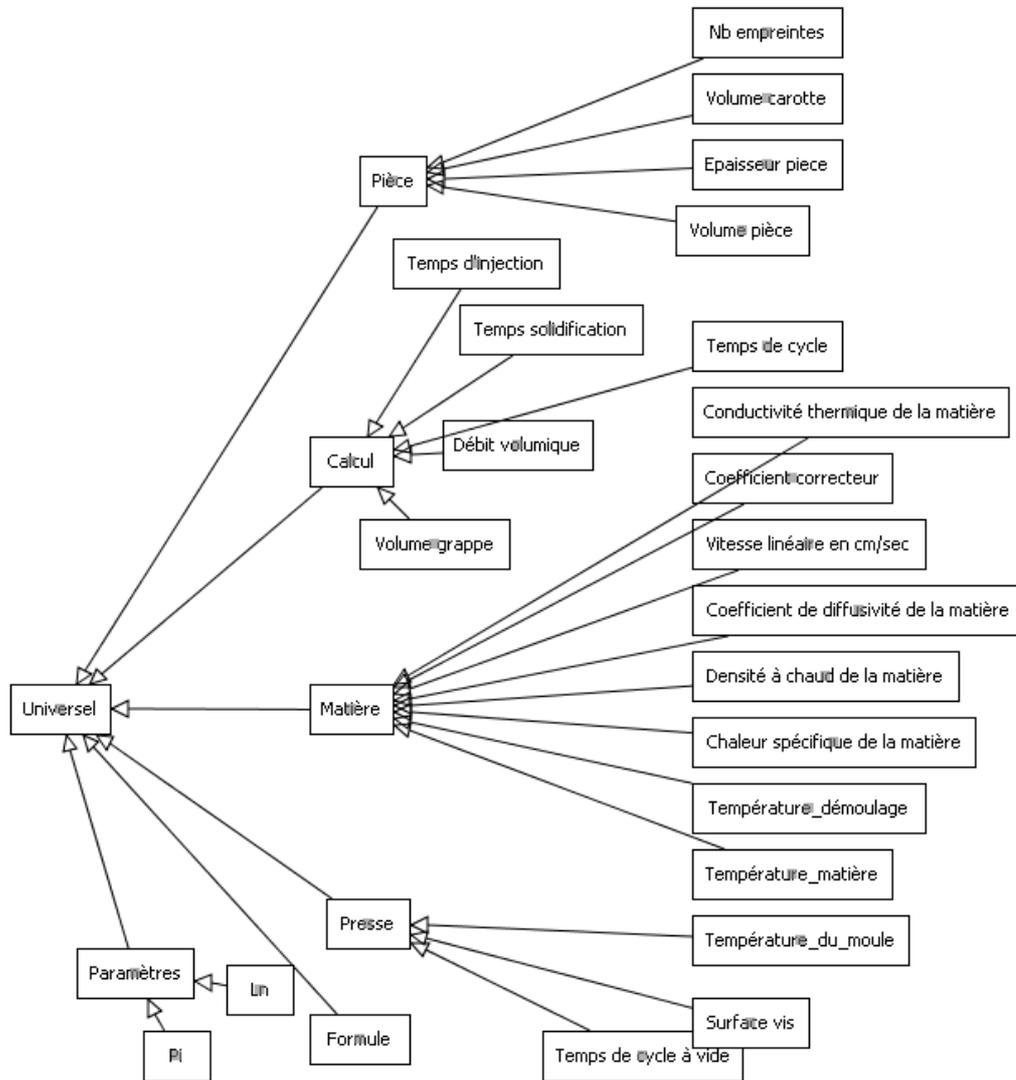


FIGURE 6.7 – Concepts de la règle métier

Le type de concepts Universel est un concept particulier qui encapsule tous les autres types. Il advient, ensuite, de caractériser les types de relation. Les types de relations représentent les relations pouvant exister entre les différents concepts. C'est pourquoi, à chaque type de relations est associée une signature qui spécifie les types de concepts. Les relations sont les suivantes :

- relationBinaire(Universel,Universel)
- divisé par(Debit-injectable, Organisation)
- est égale(Universel, Formule)
- multiplié par(Universel, Universel)
- additionné à(Temps, Temps)

– soustraire de(Universel, Universel)

Ces connaissances sont présentées sous forme de graphes composés de sommets « concepts » et « relations ». Pour la formalisation de cette règle, nous avons recourt à des graphes emboîtés qui permettent la représentation de connaissances contextuelles. Il s'agit de pouvoir représenter les connaissances à différents niveaux de description et de pouvoir augmenter ou diminuer la finesse de présentation des connaissances représentées. Dans notre exemple, le temps de cycle total est déterminé en fonction de paramètres issus d'autres formules. Cela nécessite d'inclure les sous calculs dans le graphe. Il est possible de masquer ou de rendre visible les graphes emboîtés (fig. 6.8).

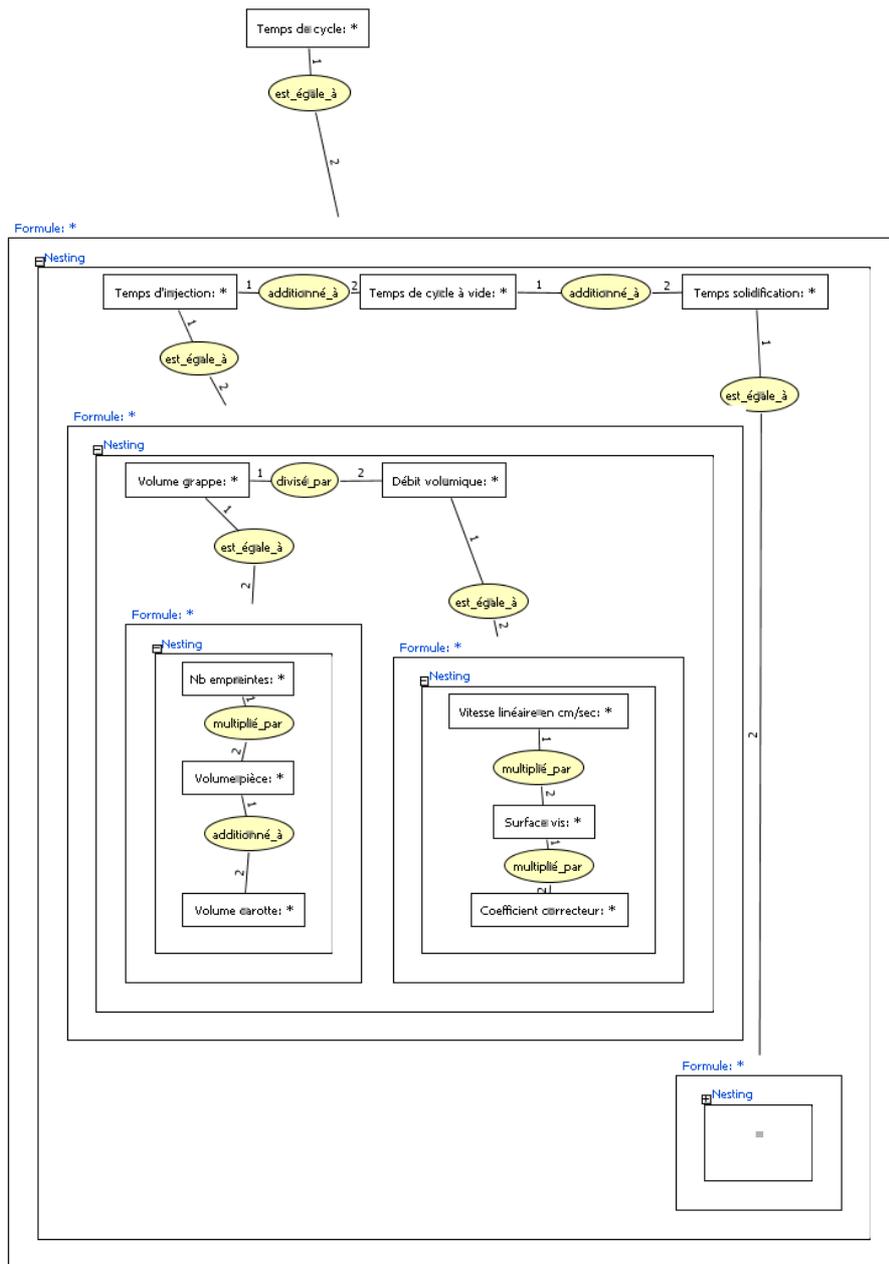


FIGURE 6.8 – Formalisation de la règle métier sous forme de Graphes Conceptuels

La mise en évidence de ces concepts est un élément essentiel pour nous aider à construire le graphe conceptuel. Ce travail de fond nous permet en parallèle d'adapter le modèle de données du système PLM.

Tous les éléments identifiés précédemment sont des données nécessitant d'être capitalisées dans la base de données. Les données en lien avec la matière sont procurées par les fournisseurs et sont propres à chaque matière. Il en va de même pour les presses et les pièces. Elles possèdent chacune des caractéristiques propres. Nous proposons ainsi le modèle de données adapté pour capitaliser les informations intervenant dans la règle métier (fig. 6.9).

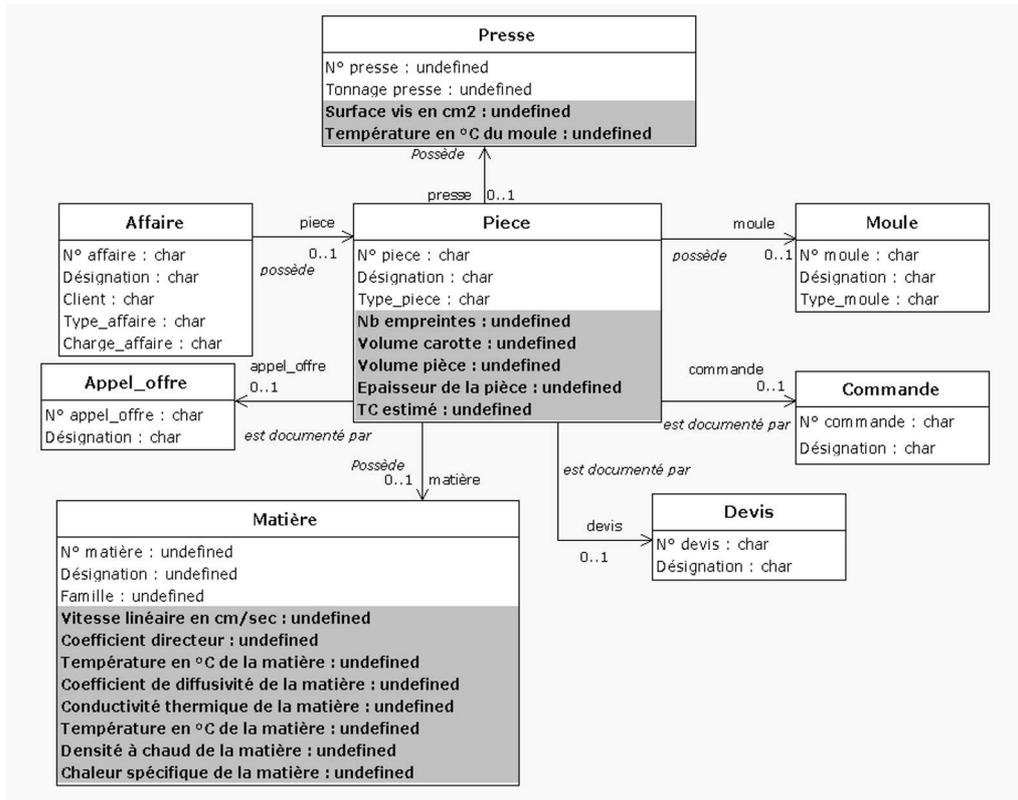


FIGURE 6.9 – Adaptation du modèle de données

A l'issu de ces étapes, nous avons établi deux points essentiels :

- l'adaptation des modèles de données du système afin de capitaliser les informations nécessaires et intervenant dans la règle métier. L'adaptation du modèle se réalise au travers de l'ajout de classes ou d'attributs. Dans notre exemple, nous avons ajouté uniquement des attributs sur des classes préalablement identifiées dans la définition du modèle d'un point de vue information.
- la formalisation de la règle métier au travers du formalisme des graphes conceptuels.

Nous avons réuni tous les éléments nécessaires pour pouvoir utiliser la règle métier. Afin de pouvoir l'exécuter au sein du système, nous nous sommes appuyé sur un script. Ce script s'exécute sur demande de l'utilisateur et rassemble au sein du système toutes les informations dont il a besoin pour pouvoir donner un résultat à l'utilisateur.

Dans l'optique de pouvoir réutiliser cette estimation du temps de cycle, nous avons choisi de créer un attribut temps de cycle estimé dans la classe pièce (fig. 6.10).

Piece
N° piece : char
Désignation : char
Type_piece : char
Nb empreintes : undefined
Volume carotte : undefined
Volume pièce : undefined
Epaisseur de la pièce : undefined
<b>TC estimé : undefined</b>

FIGURE 6.10 – Adaptation de la classe Pièce

Le script est basé sur des requêtes SQL qui vont interroger la base afin de recueillir les informations nécessaires, sur la matière, la pièce, la presse, etc.. Le schéma ci dessous illustre notre application (fig. 6.11).

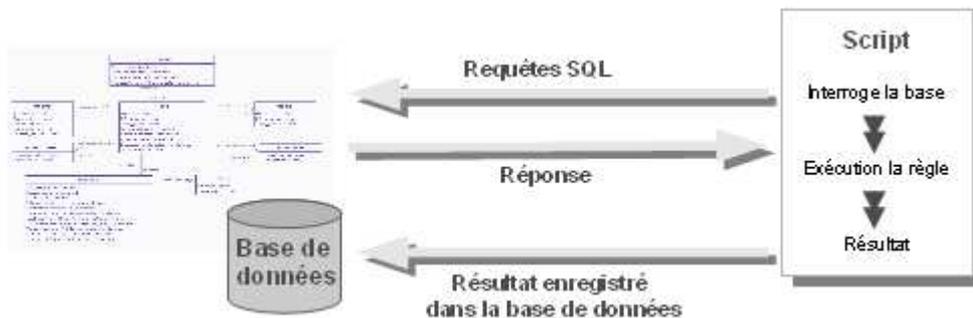


FIGURE 6.11 – Fonctionnement de capitalisation dans le système

### Utiliser/Instancier

Cette étape consiste à utiliser la connaissance qui a été ainsi formalisée. Pour utiliser la règle qui a été formalisée dans le système, l'utilisateur va exécuter le script prévu à cet effet par le biais d'un menu dans l'interface du PLM (fig. 6.12).

Dans notre application, la règle métier formalisée correspond à l'évaluation d'un temps de cycle. Pour pouvoir être estimée, la règle doit avoir en entrée des caractéristiques propres à la matière utilisée, la presse choisie et la pièce.

D'un point de vue opérationnel, l'utilisateur crée dans la base les objets nécessaires au calcul de ce temps de cycle et les associe entre eux grâce au type de lien défini ("possède" et "documenté par"). L'exécution du script se lance via l'interface utilisateur du système en se positionnant sur l'objet pièce. De part la structure créée entre les différents objets, pièce, matière, presse, le script a toutes les informations, type de matière utilisée, presse utilisée, nécessaires. Via des requêtes SQL, il récupère dans la base de données les données (poids pièce, température matière, etc.) pour effectuer son estimation. L'estimation est ensuite stockée dans l'attribut "temps de cycle estimé" et restituée à l'utilisateur dans l'attribut.

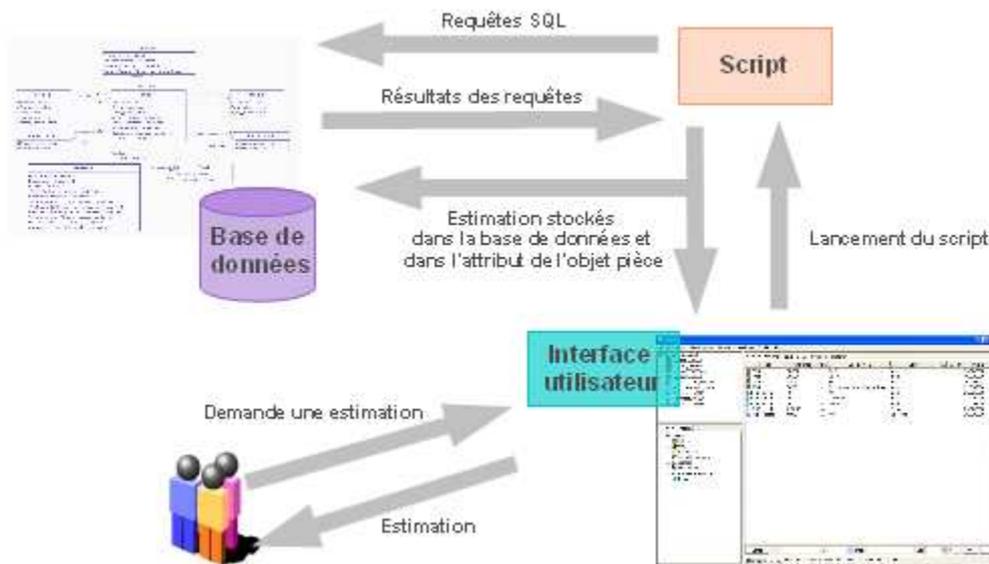


FIGURE 6.12 – Fonctionnement de l'utilisation des connaissances dans le système

### Évaluer/Adapter

Dans cette étape d'évaluation, il s'agit d'évaluer l'aspect connaissance. Nous avons proposé dans le chapitre 5, un modèle basé sur 3 axes.

**Le premier axe** consiste à évaluer l'impact de l'utilisation des connaissances sur le processus d'appel d'offre. En effet, le constat fait au sein de la société Marmillon, fait état d'un processus défaillant. Des délais trop long, en terme de réponse au client, principalement sur l'activité de réalisation d'un devis, des devis souvent trop approximatifs qui ne reflètent pas la réalité lors de la production. Le processus d'appel d'offre est un processus critique pour l'entreprise, car si le coût de la pièce vendu au client est inférieur au coût de la production, la société se retrouve en situation critique. L'intérêt de capitaliser des connaissances sur cette activité répond à ce double objectif :

- être plus réactif pour la réalisation du devis en proposant des solutions,
- proposer des solutions non pas liées uniquement à une expérience mais également à des connaissances "qui ont fait leur preuve" et qui permettront d'aboutir à un devis proche de la réalité.

Nous avons dans un premier temps mesuré les temps d'exécution du processus et plus particulièrement de l'activité en question, lorsque l'utilisateur n'a pas recours à cette connaissance formalisée. Cette même mesure est également effectuée lorsque l'utilisateur a recours à cette connaissance afin de mettre en avant un delta positif. Nous avons également mesuré ce même delta en ce qui concerne les atteintes sur l'objectif d'aboutir à une commande de la part du client.

**Le deuxième axe** consiste à évaluer le résultat issu de la connaissance. Nous avons alimenté la classe pièce de nouveaux attributs. Il s'agit ici de mesurer l'écart entre le temps de cycle estimé et celui réalisé lors de la production. Ainsi, nous avons rajouté sur la classe pièce un attribut "temps de cycle réel" (fig. 6.13) qui sera saisi par l'utilisateur à l'issue de la première

production.

D'un point de vue qualitatif, nous proposons à l'utilisateur de donner un avis sur le résultat issu de la règle. L'utilisateur choisi dans une liste déroulante le critère qui lui semble le plus approprié à savoir : bonne, passable, mauvaise. Cette appréciation nous donne une information sur la cohérence de la règle pour ce cas donné.

Dans un deuxième temps, nous souhaitons avoir une analyse a posteriori, c'est à dire après la première production. Nous souhaitons avoir une appréciation sur le delta entre le temps de cycle estimé et le temps de cycle réel. De la même manière nous proposons à l'utilisateur une liste avec des critères : mauvaise évaluation, événement externe . L'objectif ici est de connaître si le delta est dû à une mauvaise estimation ou à un événement externe. Cet événement externe peut être lié à un changement de périmètre concernant la production, changement de presse, finition de la pièce, qui ferait que l'estimation n'a pas été calculée dans un périmètre similaire au périmètre de production.

Toutes ces données qualitatives fournies par l'utilisateur le sont également par le biais d'attributs sur l'objet pièce. Ils correspondent aux attributs suivants : évaluation de l'estimation, évaluation du delta. Nous introduisons également un autre attribut "delta", qui lui n'est pas saisi par l'utilisateur mais calculé au moment où le temps de cycle de production est saisi dans le système. Nous constatons dans cette évaluation que toutes les données sont stockées dans le système à des fins de capitalisation. Cette capitalisation est intéressante et permettra par la suite, lorsque les données seront en quantité suffisante, de pouvoir faire une analyse et éventuellement faire des rapprochements entre des catégories de pièces et ainsi déduire de nouvelles connaissances.

Pièce	
N° pièce :	char
Désignation :	char
Type_piece :	char
Nb empreintes :	undefined
Volume carotte :	undefined
Volume pièce :	undefined
Epaisseur de la pièce :	undefined
TC estimé :	undefined
<b>TC production :</b>	<b>undefined</b>
<b>Delta :</b>	<b>undefined</b>
<b>Evaluation estimation :</b>	<b>boolean=bonne, passable, mauvaise</b>
<b>Evaluation delta :</b>	<b>boolean=bonne, mauvaise, événement extérieur</b>

FIGURE 6.13 – Classe Pièce adaptée à des fins d'évaluation

**Le troisième axe** consiste à mesurer les actions réalisées sur la classe connaissance "K" de notre modèle qui est destinée à stocker le graphe conceptuel avec la règle formalisée. Dans cette étape, nous souhaitons savoir si des actions de modification ont été effectuées sur l'objet temps de cycle de la classe "K". Nous souhaitons également mesurer au travers des fichiers de journalisation, les accès en terme d'exécution de la règle. Nous allons donc retracer dans ces fichiers log, les accès au script permettant d'estimer un temps de cycle.

Ces indicateurs vont nous donner une autre vision sur l'évaluation des connaissances. Il nous indiqueront si la règle a été modifiée et combien de fois, ce qui induira peut-être une mauvaise formalisation. Nous constaterons également par le biais du deuxième indicateur si la règle est utilisée par les personnes en charge du devis.

### 6.3 Conclusion et discussion

Dans ce chapitre, nous avons présenté un exemple d'application de la méthodologie MPPI dans le cadre du projet de déploiement d'un système PLM au sein de l'entreprise Marmillon. Nous avons plus particulièrement décrit la conception du modèle de données à partir de l'analyse d'un processus métier relatif à la gestion des appels d'offres. Du point de vue connaissance, nous nous sommes attachés à analyser l'activité de réalisation du devis. En effet, cette activité est une étape cruciale de ce processus puisqu'elle engage la société. L'estimation globale du coût de la pièce doit être au plus proche de la réalité. Au sein de ce devis, nous avons identifié des points nécessitant une connaissance entre autres le temps de cycle permettant de produire une pièce plastique. Au travers de ce cas, nous avons montré comment notre méthode a permis de capitaliser des connaissances tacites. Cette analyse, et cette formalisation des connaissances, nous a permis de considérablement enrichir le modèle initial et a pu être instancié au sein du PLM de Marmillon.

Au cours de l'application de cette méthodologie, nous avons cependant constaté que l'étape de formalisation et d'extraction de la connaissance reste une tâche assez délicate. Au sein d'une PME, les employés sont peu sensibilisés à la préservation du savoir. Le fait d'être le seul à détenir une connaissance est ressenti comme une sorte de pouvoir. Aujourd'hui, le partage des informations et des connaissances prend une vraie valeur pour les entreprises et ce, au détriment du sentiment individuel.

# Conclusion et Perspectives

Les PME/PMI sont aujourd'hui confrontées à de nouveaux enjeux technologiques et économiques dans un contexte de réduction des temps de mise sur le marché des produits industriels et d'optimisation des processus de production. Il est donc devenu nécessaire de gérer, de capitaliser et de réutiliser au mieux le patrimoine technique de l'entreprise. Les solutions proposées par les systèmes PLM (Product Lifecycle Management) contribuent à réduire le temps de développement des produits tout en garantissant une traçabilité des informations échangées entre les différents modèles numériques propres à chaque métier. Cependant, le choix et le déploiement de tels systèmes nécessitent des contraintes fortes en termes de ressources et de formation qui font parfois défaut aux plus petites entreprises. Par ailleurs, le partage des connaissances au sein de l'entreprise, la formalisation des connaissances et leur exploitation au sein des systèmes PLM sont autant d'étapes nécessaires à l'amélioration des performances du système industriel.

Dans cette thèse, nous présentons un cadre méthodologique et applicatif pour le déploiement d'un système PLM qui remplit deux objectifs :

- L'assistance aux PME/PMI dans une démarche de mise en œuvre d'un système PLM pour réduire les coûts d'intégration ;
- Une approche visant à construire le modèle de données du système en s'appuyant sur une formalisation des processus métier de l'entreprise. Cette formalisation permettra ensuite d'extraire de la connaissance et des savoir-faire tacites et de proposer des indicateurs qualitatifs et quantitatifs du système.

Ce mémoire se compose de deux parties : la première partie est consacrée à une étude de l'état de l'art dans les domaines des systèmes d'information produit et de la capitalisation des connaissances. Cette partie concerne les chapitres un, deux et trois. Dans la seconde partie, composée des chapitres quatre, cinq, six, nous montrons comment le processus de conception d'un système PLM, à travers la formalisation des processus métier de l'entreprise, peut servir de support à une démarche de capitalisation des connaissances.

- Le premier chapitre dresse un état de l'art des systèmes d'information produit dans le contexte de l'ingénierie concurrente. Ces systèmes s'appuient sur trois composantes : les composantes Produit, Process et Organisation (PPO). Nous avons recensés des modèles spécifiques Produit et Processus – Organisation , ainsi que des modèles intégrés.
- Le deuxième chapitre traite de la modélisation des processus. La maîtrise des processus est un gage d'amélioration de la performance globale de l'entreprise. Nous présentons donc les différents formalismes les plus utilisés, la conception, l'exécution et les différents langages de modélisation.
- Dans le troisième chapitre, nous nous intéressons à la notion de connaissances, aux méthodologies de capitalisation des connaissances et aux formalismes de représentation des connaissances. Les principales méthodes développées sont Common KADS et MKSM et les

principaux formalismes étudiés sont les réseaux sémantiques et plus particulièrement les graphes conceptuels ainsi que les ontologies. Les niveaux d'interopérabilité et les formats d'export des modèles ont été particulièrement étudiés.

- Le chapitre quatre présente la méthode globale d'implémentation d'un système PLM dans une PME/PMI (MPPI). Après avoir caractérisé les projets SI (Systèmes d'Information), l'approche proposée se décompose en trois grandes phases : une phase d'avant-projet, une phase de mise en œuvre et une phase transversale d'accompagnement et d'adaptation. Pour chacune, nous proposons une représentation sous la forme d'un processus BPMN exécutable. Cette méthodologie, centrée sur les processus, permet une analyse locale des niches de connaissance et intègre donc une approche de capitalisation des savoir-faire.
- La chapitre cinq propose une approche méthodologique visant à définir le modèle de données du système d'un point de vue information et connaissance. Les processus métiers de l'entreprise sont le socle de notre approche. Après une formalisation en BPMN, les processus sont étudiés afin de définir le modèle de données et de repérer les connaissances cruciales. La méthodologie se décompose en deux grandes étapes - niveau information, et niveau connaissance - comportant chacune les cinq actions suivantes :
  - **Identifier et formaliser.** D'un point de vue information, il s'agit d'identifier les données et informations liées au produit afin d'en déduire un modèle. D'un point de vue connaissance, cette étape consiste à discerner les activités à forte valeur ajoutée exigeant un recours à la connaissance et à les formaliser. Nous avons choisi les graphes conceptuels pour représenter ces connaissances et les expliciter.
  - **Modéliser.** La phase de modélisation consiste à adapter les éléments identifiés précédemment afin de les rendre paramétrable dans le système d'un point de vue information mais aussi connaissance.
  - **Utiliser.** Cette étape consiste à utiliser le système, afin de pouvoir ensuite évaluer le modèle d'informations et de connaissances.
  - **Évaluer.** Le dernier point traite de l'évaluation des modèles proposés sur deux niveaux : information et connaissance. L'évaluation se décompose en deux étapes : la première consiste à vérifier la cohérence du modèle. Les indicateurs proposés s'appuient sur les activités enregistrées dans la base de données et sur les fichiers de journalisation. La seconde étape permet d'évaluer des connaissances en prenant en considération trois éléments : le résultat issu d'une règle métier, l'impact de la formalisation des connaissances sur le processus métier et les modifications et usage de la règle métier.
- Le sixième chapitre est consacré à l'application industrielle au sein de la société Marmillon SAS, spécialiste de la transformation des matières plastiques. Le modèle de données s'appuie sur une analyse du processus d'appel d'offres de l'entreprise. Par ailleurs, le calcul du temps de cycle pour injecter une pièce plastique, issu d'une règle métier particulière, permet de valider notre approche d'un point de vue de l'intégration des savoir-faire dans le système PLM. Nous présentons également l'architecture du système permettant à l'utilisateur de se servir des connaissances formalisées au sein du système.

Dans cette thèse, nous proposons une démarche de déploiement d'un système PLM basée sur une démarche centrée sur les processus qui intègre des aspects d'extraction et de capitalisation de connaissances. Notre démarche permet donc d'enrichir les systèmes d'information de type PLM et de les envisager comment des supports possibles à la capitalisation de connaissances. Elle complète les travaux existants dans le domaine des systèmes d'information centrés produit qui visent à gérer les informations au sein des PLM pour améliorer la conception routinière des produits, en se préoccupant des savoir-faire métier.

Notre contribution porte sur plusieurs aspects complémentaires. Le premier élément de contribution porte sur la proposition d'une approche globale de déploiement d'un projet PLM au sein d'une PME/PMI basée sur une approche centrée sur la formalisation des processus. La certification ISO propose aux entreprises une approche de management de la qualité par les processus. La formalisation des processus métier en particulier permet donc la construction du modèle de données du système PLM. En ce sens, cette approche diffère des approches actuelles qui aboutissent à la création du modèle de données par analyse ou interviews d'experts. En effet, un de nos objectifs était de proposer un cadre de travail au concepteur du SI afin qu'il sollicite peu les experts. De plus, dans notre approche, les modèles obtenus doivent permettre l'utilisation effective du système PLM. Ils sont donc multi-niveaux et concernent de fait, les données, les processus et l'organisation. Par ailleurs, même si nous avons appliqué notre méthode à un système informatique particulier dans le cas de l'entreprise Marmillon, cette méthode reste générique et indépendante du système informatique choisi.

Le deuxième élément de contribution porte sur une démarche de capitalisation intégrée à la conception du système. En effet, grâce à l'analyse des processus et à la contribution des experts métier, il est possible d'identifier des connaissances tacites, de les expliciter et de les traiter. Ces connaissances ainsi explicitées pourront être exploitées de manière induite par les objets du système d'information. Les différents modèles PPO (produit, processus, organisation) sont donc enrichis par l'identification d'activités à forte valeur ajoutée pour l'entreprise. Ainsi, nous avons voulu proposer une approche de capitalisation ciblée sur les connaissances qui apporte une réelle plus-value et qui ne soit pas globalisée sur l'ensemble des connaissances de l'entreprise. Cette restriction nous semble nécessaire dans le contexte PME/PMI.

Le troisième élément de contribution porte sur les outils permettant d'évaluer l'adéquation du système aux besoins de l'entreprise. La force des PME/PMI réside dans leur capacité d'adaptation et leur système d'information doit permettre cette agilité. Pour cela, nous avons proposé une série d'indicateurs permettant d'évaluer le système sur deux aspects : les activités et les modifications apportées générées lors de la gestion journalière et les connaissances métier manipulées pour le traitement de telle ou telle règle métier. L'objectif de ces indicateurs qui font partie intégrante de la méthode est de suivre l'usage du système par les utilisateurs afin de détecter et de proposer d'éventuelles corrections.

## Perspectives

La proposition de capitaliser des connaissances en phase de déploiement d'un système d'information ouvre des perspectives tant sur le domaine des connaissances que sur le domaine des systèmes d'information.

La première perspective concerne l'extension de l'approche processus de MPPI. Le choix d'une structuration basée sur les processus dans les phases amont et aval du déploiement, pose la question de l'exécution de ces processus au sein d'un environnement dédié. De fait, le choix du format BPMN permet une extension native (via XML) dans un formalisme d'exécution. A ce sujet, le standard BPEL (Business Process Execution Language) de l'OMG est un langage de programmation dérivé du XML et destiné à l'exécution des procédures d'entreprise. La transformation d'un fichier BPMN en BPEL et son instanciation dans une architecture d'exécution permettrait de rendre la méthode MPPI exécutable. Cette caractéristique présenterait alors deux avantages : le premier avantage serait la capacité de proposer des solutions PLM en mode ASP<sup>12</sup> couplées à la méthodologie MPPI, elle aussi en mode ASP. A défaut, elle pourrait être implémentée sur un ESB<sup>13</sup> (BPEL est supporté nativement par les architectures SOA<sup>14</sup>). Le second avantage concerne les possibilités liées aux nouvelles architectures de type SOA qui ont

---

12. Application Service Provider

13. Enterprise Service Bus

14. Service Oriented Architecture

## *Conclusion et Perspectives*

de relatives capacités d'agilité.

La seconde perspective concerne directement l'intégration des connaissances. Dans notre cas, la formalisation des connaissances permet de guider l'expert dans l'identification de connaissances cruciales (par exemple des règles métier). Il n'est resté pas moins que les modèles de connaissances sont découplés des modèles PLM. Le couplage reste possible sur une exportation des graphes avec RDF ou OWL. Ce couplage restera incomplet tant qu'il ne sera pas possible d'ajouter des fonctionnalités caractéristiques des SBC<sup>15</sup>. Dans la logique des services métier proposé par les architectures SOA, il serait tout à fait pertinent de modéliser un k-service orienté vers l'exploitation des connaissances.

Enfin, une dernière perspective concerne la capacité à intégrer des méta-modèles complets et consistants sur les plate-formes PLM existantes. L'étude de quelques plate-formes a montré que ce méta-modèle n'est pas toujours simple à établir, d'autant plus qu'il n'est pas indépendant des systèmes. De notre point de vue, la définition d'un "core-model" normalisé (et accepté pas tous) ne semble pas d'actualité. A défaut, l'identification des différents méta-modèles devrait permettre de généraliser leur traitement au sein de MPPI en utilisant les techniques proposées par l'ingénierie dirigée par les modèles (MDE).

---

15. Système Basé Connaissance

# Bibliographie

- [AFG92] AFGI. *Evaluer pour évoluer, les indicateurs de performance au service du pilotage industriel*. 1992.
- [AFN85] AFNOR. <http://www.afnor.org>, 1985.
- [ami93] *AMICE, CIMOSA : Open systems architecture for CIM*. 1993.
- [Ang05] H. Angot. *Système d'information de l'entreprise , Analyse théorique des flux d'information et cas pratiques*. 2005.
- [Arb03] A. Arbor. Product lifecycle management "empowering the future of business". Technical report, CIMdata Inc, 2003.
- [AS97] D. Avison and H. Shah. *Information Systems Development Life Cycle*. Mcgraw-hill Professional, 1997.
- [Bal02] G. Balmisse. *Gestion des connaissances : outils et applications du Knowledge Management*. Vuibert, 2002.
- [Bar38] C-I. Barnard. The functions of the executive. *Harvard University press*, 1938.
- [Bar00] C. Bareigts. Importance de la coordination/coopération en terme d'apprentissage organisationnel. In *Actes du colloque Agents logiciels, coopération, apprentissage & activité humaine*, Biarritz, 2000.
- [Bar06] M. Barcikowski. *Vers une évaluation de la robustesse des connaissances au sein d'une base de connaissances*. PhD thesis, Université Claude Bernard Lyon 1, 2006.
- [Ber97] L. Berrah. *Une approche d'évaluation de la performance industrielle - modèle d'indicateur et techniques floues pour un pilotage réactif*. PhD thesis, Ecole Nationale Polytechnique de Grenoble, 1997.
- [Ber00a] C. Berchet. *Modélisation pour la simulation d'un système d'aide au pilotage industriel*. PhD thesis, Institut National Polytechnique de Grenoble, 2000.
- [Ber00b] A. Bernard. Modèles et approches pour la conception et la production intégrées. In *Revue APII-JESA*, 2000.
- [BG96] D. Brissaud and O. Garro. An approach to concurrent engineering using distributed design methodology. concurrent engineering : Recherche and applications. Technical report, 1996.
- [BGT05] H. Busch, M. Gardoni, and M. Tollenaere. Difficultés et propositions pour la capitalisation des connaissances dans l'objectif d'une réutilisation pour la gestion des expériences. In *9eme Colloque national sur la conception mécanique intégrée - PRIMECA*, La Plagne, France, 2005.
- [BHB95] C. Braesch, A. Haurat, and J-M. Beving. *L'entreprise système : la modélisation systémique en entreprise*. Hermès, 1995.
- [Bit90] M. Bitton. *ECOGRAI : méthode de conception et d'implantation des systèmes de mesure des performances pour organisations industrielles*. PhD thesis, Université de Bordeaux I, 1990.

## Bibliographie

- [BLPB08a] A. Bissay, A. Lefebvre, P. Pernelle, and A. Bouras. Approche de capitalisation des connaissances à l'aide d'un système plm. In *7th International Conference on Modelling and Simulation (MOSIM08)*, Paris, France, mars 2008.
- [BLPB08b] A. Bissay, A. Lefebvre, P. Pernelle, and A. Bouras. Approche de capitalisation des connaissances au sein des systèmes plm. In *1er colloque international sur les Systèmes Industriels et Logistiques (SIL'08)*, Marrakech, Maroc, Décembre 2008.
- [BLPB08c] A. Bissay, A. Lefebvre, P. Pernelle, and A. Bouras. Deployment methodology of is. SIG-PLM Workshop (IFIP WG 5.7), Lausanne, Suisse, Juillet 2008.
- [BLPB08d] A. Bissay, A. Lefebvre, P. Pernelle, and A. Bouras. Integration of business processes and performance indicators in a plm. In *International Conference on Advances in Production Management Systems (APMS'08)*, Espoo, Finlande, Septembre 2008.
- [BLPB08e] A. Bissay, A. Lefebvre, P. Pernelle, and A. Bouras. Knowledge capitalization within a plm system. APMS Doctoral Workshop, Espoo, Finlande, Septembre 2008.
- [BLPB09] A. Bissay, A. Lefebvre, P. Pernelle, and A. Bouras. Knowledge integration through a plm approach. In *15th international conference new technologies and products in machines manufacturing and technologies (TEHNOMUS XV)*, Suceava, Roumanie, Mai 2009.
- [Boc98] J-C. Bocquet. *Ingénierie simultanée, conception intégrée. Conception de produits mécaniques, méthodes, modèles et outils*. Edition Hermès, 1998.
- [Bou97] C. Bourne. *Catégorisation et formalisation des connaissances industrielles*. Hermès, 1997.
- [Bri08] P. Briol. *Ingénierie des processus métiers : De l'élaboration à l'exploitation*. 2008.
- [BT97] H. Bouchard and M. Tollenaere. Les sgdt : concepts fondamentaux et approche didactique. In *Congrès franco-québécois de Génie industriel*, Albi, 1997.
- [CD03] E. Caillaud and B. Duprieu. Ingénierie des connaissances pour l'ingénierie intégrée : application à la conception d'outillages. *Revue Internationale d'Ingénierie des Systèmes de Production Mécanique*, Vol. 7 :pp. 60–66., 2003.
- [Cha02] J. Charlet. *L'ingénierie des connaissances : développements, résultats et perspectives pour la gestion des connaissances médicales*. Habilitation à diriger des recherches, Université Pierre et Marie Curie, 2002.
- [Cha05] S. Charles. *Gestion Intégrée des données CAO et EF -Contribution à la liaison entre conception mécanique et calcul de structures*. PhD thesis, Université de Technologie de Troyes, 2005.
- [Che92] K. Cheballah. *Aides à la gestion des données techniques des produits industriels*. PhD thesis, École Centrale de Lyon, 1992.
- [CIM09] CIMDATA. Preliminary statistics from cimdata show a 6% “mainstream plm” market growth for 2008, 2009.
- [CK97] E.C. Chapa Kasusky. *Outils et structure pour la coopération formelle et informelle dans un contexte de conception holonique*. PhD thesis, INP de Grenoble, 1997.
- [Con96] D. Constant. *Contribution à la spécification d'un modèle fonctionnel de produits pour la conception intégrée de systèmes mécaniques*. PhD thesis, Université Joseph Fourier - Grenoble 1, 1996.
- [Cor97] J.C. Corbel. *Méthodologie de retour d'expérience : démarche merex de renault*. Hermès, 1997.
- [CRE<sup>+</sup>01] C. Cauvet, D. Rieu, B. Espinasse, JP. Giraudin, and M. Tollenaere. Ingénierie des systèmes d'information produit : une approche méthodologique centrée réutilisation de patrons. In *In INFORSID*. 2001.

- [Dav93] T.H. Davenport. Process innovation. In *Harvard Business School Press*, 1993.
- [Dav97] T.H. Davenport. Ten principles of knowledge management and four case studies. *Knowledge and Process Management*, 1997.
- [DCG<sup>+</sup>01] R. Dieng, O. Corby, F. Gandon, A. Giboin, J. Golebiowska, N. Matta, and M. Ribière. *methodes et outils pour la gestion des connaissances*. 2001.
- [DCGR98] R. Dieng, O. Corby, A. Giboin, and M. Ribiere. Methods and tools for corporate knowledge management. Technical report, INRIA, 1998.
- [deb04] *PLM : La gestion collaborative du cycle de vie des produits*. Hermes Science, 2004.
- [Del01] H. S. Delugach. Charger : a graphical conceptual graph editor. In *workshop on conceptual graphs tools, 9th international conference on conceptual structures, Stanford university*, 2001.
- [Den02] D. Deneux. *Méthodes et modèles pour la conception concourante*. Habilitation à diriger des recherches, Université de Valenciennes, 2002.
- [DTC90] G. De Terssac and C. Chabaud. *Les facteurs humains de la fiabilité dans les systèmes complexes*, chapter Référentiel opératif commun et fiabilité. 1990.
- [ECB<sup>+</sup>96] J-L. Ermine, M. Chaillot, P. Bigeon, B. Charreton, and D. Malavielle. Mksm méthode pour la gestion des connaissances. Technical report, CEA, 1996.
- [EMLMS97] A. El Mhamedi, C. Lerch, S. Marier, and M. Sonntag. Modélisation des activités et des processus des systèmes de production : une approche interdisciplinaires. In *RAIRO-APII-JESA : Journal européen des systèmes automatisés (31)*, 1997.
- [Erm01] J-L. Ermine. *Capitaliser et partager les connaissances avec la méthode mask*. Hermès, 2001.
- [Erm03] *La gestion des connaissances*. Hermès Science, 2003.
- [Eyn05] B. Eynard. *Gestion du cycle de vie des produits et dynamique des connaissances industrielles en conception intégrée*. Habilitation à diriger les recherches, Université de Technologie de Troyes, 2005.
- [Fen01] S.J. Fenves. A core product model for representing design information. Technical Report NISTIR 6736, National Institute of Standards and Technology, 2001.
- [Fil08] D. Filippone. Plm dans les pme : un parcours semé d'embûches. Journal du net, www.journaldunet.com, 16 mai 2008.
- [Gal90] P.M. Gallois. Evaluation et pilotage de la performance industrielle. In *ECOSIP*, 1990.
- [GB96] M. Grundstein and J.P. Barthes. *An industrial view of the process of capitalizing knowledge*. Advances in Knowledge Management, 1996.
- [Ger00] M. Gervais. *Contrôle de gestion*. Economica, 7ème edition, 2000.
- [Ger08] M.H. Geryville. *Une architecture d'échange et de partage de l'information produit : transformation, et adaptation des connaissances dans un contexte d'entreprise étendue*. PhD thesis, Université Lumière Lyon 2, 2008.
- [Gir04] P. Girard. *Contribution à la conduite des systèmes de conception*. Habilitation à diriger des recherches, Université de Bordeaux 1, Bordeaux, France, 2004.
- [Gom08] S. Gomes. *Ingénierie à base de connaissances pour une conception productive, optimisée et innovante du système Projet-Produit-Process-Usage*. Habilitation à diriger les recherches, Université de Technologie de Belfort-Montbéliard, 2008.
- [Gru91] T.R. Gruber. The role of common ontology in achieving sharable. *Proceeding of the Second International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning*, 1991.
- [Gru94] T.R. Gruber. Translation approach to portable ontology specifications. *Knowledge Acquisition*, 1994.

## Bibliographie

- [GS98] D. Genest and E. Salvat. A platform allowing typed nested graphs : how cogito became cogitant. *Proceedings of the 6th International Conference on Conceptual Structures*, 1998.
- [GS02] S. Gomes and J-C. Sagot. *A concurrent engineering experience based on a cooperative and object oriented design methodology*, chapter 3rd International Conference on Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering. Kluwer publishers, 2002.
- [GTF95] R.D. Gatewood, R.R. Taylor, and O.C. Ferre. *Management : comprehension, analysis and application*. McGraw-Hill Education, 1995.
- [GVHTT00] P. Groot, F. Van Harmelen, and A. Ten Teije. A quantitative analysis for the robustness of knowledge-based systems. In *12th international on knowledge engineering and knowledge management*, volume 1812, pages 403–418, 2000.
- [Gza00] L. Gzara. *Les patterns pour l'ingénierie des systèmes d'information produit*. PhD thesis, Institut National Polytechnique de Grenoble, 2000.
- [Har97] Y. Harani. *Une approche multi-modèles pour la capitalisation des connaissances dans le domaine de la conception*. PhD thesis, Institut National Polytechnique de Grenoble, 1997.
- [Her04] A. Herzig. Introduction à la logique. 2004.
- [HK98] C-N Hsu and C-A. Knoblock. Discovering robust knowledge from databases that change, 1998.
- [IDE93] Integration definition for process modeling. Draft Federal Information Processing Standard Publication I83, 1993. <http://www.idef.com>.
- [Ima92] M. Imai. *Kaizen : La clé de la compétitivité japonnaise*. 1992.
- [ISO08] ISO. Guide sur le concept et l'utilisation de l'approche processus pour les systèmes de management (document iso/tc 176/sc 2/n544r3). <http://www.iso.org>, octobre 2008.
- [LDN97] A.M. Le Dain and P.I. Ndao. Sur un système d'indicateurs de performance pour l'évaluation d'une automatisation dans une entreprise papetière. In *2ème Congrès International Franco-Québécois, "Le génie industriel dans un monde sans frontières"*, 1997.
- [Lon04] A. Lonjon. Modélisation des processus métiers et standardisation, 2004.
- [Lor91] P. Lorino. *Le contrôle de gestion stratégique : la gestion par les activités*. Dunod, 1991.
- [Mau93] M. Maurino. *La gestion des données techniques*. MASSON, 1993.
- [MBCP95] J. Mayer, P.C. Benjamin, B.E. Caraway, and M.K. Painter. A framework and a suite of methods for business process reengineering. <http://www.idef.com>, 1995.
- [MDOO98] A.G. Menon, R.C. Dekker, J.F. Oosterhof, and H.J. Oppelland. Creating tomorrow's business : managing knowledge. *Le manager*, 1998.
- [MHLH05] C. Morley, J. Hugues, B. Leblanc, and O. Hugues. *Processus métiers et systèmes d'informations : évaluation, modélisation, mise en œuvre*. 2005.
- [Min78] H. Mintzberg. *Structure et dynamique des organisations*. LES EDITIONS D'ORGANISATION, 1978.
- [Mos07] S. Mostefai. *De la modélisation produit dans les technologies XAO au PLM : une contribution à l'intégration des applications d'ingénierie dans un cadre de gestion du cycle de vie produit*. PhD thesis, Université Mentouri de Constantine, 2007.
- [MP97] P. Maret and J-M. Pinon. *Ingénierie des savoir-faire – Compétences individuelles et mémoire collective*. Edition HERMES, 1997.
- [NKM94] J. Nollet, J. Kélada, and MO.Dorio. *La gestion des opérations et de la production - une approche systémique*. 1994.

- [Non94] I. Nonaka. *Dynamic theory of organizational knowledge creation*. Organizational Science, 1994.
- [NPP96] M.V.N. Nagendra Prasad and E. Plaza. *Corporate memories as distributed case libraries*. 1996.
- [Per02] P. Pernelle. *Système d'information Produit pour le PME/PMI : modélisation multi-niveaux d'entreprises engagées dans un travail coopératif*. PhD thesis, Ecole supérieure d'ingénieur d'Annecy, 2002.
- [Pet04] J-F. Petiot. *Conception intégrée orienté client : processus, méthodes et outils*. Habilitation à diriger les recherches, Ecole Centrale de Nantes, 2004.
- [Pol66] M. Polanyi. The tacit dimension. *Routledge & Kegan Paul*, 1966.
- [Pom96] F. Pomian. *Mémoire d'entreprise, techniques et outils de la gestion du savoir*. 1996.
- [Pra00] J.Y. Prax. *Le guide du Knowledge Management : Concepts et pratiques du management de la connaissance*. 2000.
- [Pri98] Journée Primeca, editor. *Qu'est ce qu'un SGDT : Concepts essentiels*, Grenoble, Octobre 1998.
- [PS93] H.R. Parsaei and W.G. Sullivan. *Principles of concurrent engineering, Concurrent engineering contemporary issues and modern design tools*. Chapman and Hall, 1993.
- [Qui68] R. Quillian. *Semantic memory*. MIT Press, 1968.
- [Ran95] J-M. Randoing. *Les SGDT*. Hermes, 1995.
- [Rei02] R. Reix. *Système d'information et management des organisations*. Vuibert, 2002.
- [RM06] L. Roucoules and C. Merlo. Le projet rntl ippop : résultats et plateforme. In *Journées STP GDR MACS*, Valenciennes, 2006.
- [Rob93] M. Roboam. *La méthode GRAI : principes, Outils, Démarche et Pratique*. Tekna, 1993.
- [Rol99] F. Role. Panorama des travaux en cours dans le domaine des métadonnées. Technical report, INRIA, février 1999.
- [Ros77] D. Ross. Structured analysis : a language for communicating ideas. *IEEE Transactions on Software Engineering*, Vol.3, N°1, janvier 1977.
- [Ros01] B. Rose. *Proposition d'un référentiel support à la conception collaborative, prototype logiciel dans le cadre du projet IPPOP*. PhD thesis, Université Henri Poincaré, Nancy, 2001.
- [Ros04] B. Rose. *Proposition d'un référentiel support à la conception collaborative CO<sup>2</sup>MED : prototype logiciel dans le cadre du projet IPPOP*. PhD thesis, Université Henri Poincaré, Nancy, France, 2004.
- [Rou99] L. Roucoules. *Les méthodes et connaissances : contribution au développement d'un environnement de conception intégrée*. PhD thesis, INP de Grenoble, 1999.
- [RT00] L. Roucoules and S. Tichkiewitch. Code : a co-operative design environment. a new generation of cad systems. *Concurrent Engineering : REcherche & Applications*, 2000.
- [SAA<sup>+</sup>99] G. Schreiber, H. Akkermans, A. Anjewierden, R. De Hoog, N. Shadbolt, W. Van De Velde, and B. Wielinga. *Knowledge engineering and management*. *The mit press*, 1999.
- [Saa04] A. Saaksvuori. *Product Lifecycle Management*. Springer, 2004.
- [Sch99] AW Scheer. *ARIS : business process modeling*. Springer, 1999.
- [Sco87] WR. Scott. *Organizations : rational, natural, and open systems*. Prentice-Hall, 1987.

## Bibliographie

- [SFSW05] R. Sudarsan, S.J. Fenves, R.D. Sriram, and F. Wang. A product information modeling framework for product lifecycle management. In *Computer-Aided Design*, 2005.
- [SG95] G. Simon and M. Grandbastien. Corporate knowledge : a case study in the detection of metallurgical flaws. In *ISMICK International Symposium on Management of Industrial and Corporate Knowledge*, 1995.
- [Sim91] H-A. Simon. *Sciences des systèmes, sciences de l'artificiel*. Dunod, 1991.
- [Sow84] JF. Sowa. *Conceptual structures : information processing*. Addison-Wesley Publishing Company, 1984.
- [Sow01] JF. Sowa. Conceptual graph standard. <http://www.jfsowa.com/cg/cgstand.htm>, 2001.
- [SRF<sup>+</sup>05] E. Subrahmanian, S. Rachuri, S.J. Fenves, S Fofou, and R.D. Sriram. Product lifecycle management support : a challenge in supporting product design and manufacturing in a networked economy. *International Journal Of product Lifecycle - IJPLM*, pages pp.4–25, 2005.
- [Sri08] M-F. Sriti. *Démarche et logiciel de gestion des connaissances pour le cycle de vie des produits*. PhD thesis, Université de Technologie de Troyes, 2008.
- [SYT<sup>+</sup>98] Y. Shimomura, Y. Yoshioka, H. Takeda, Y. Umeda, and T. Tomiyama. Representation of design object based on the fonctionnal evolution process model. *Journal of Mechanical Design*, 1998.
- [SZ07] H. Savall and V. Zardet. *Maîtriser les coûts et les performances cachées*. 2007.
- [Tho96] P. Thomas. Springer Verlag, 1996.
- [Tic96] S. Tichkiewitch. Specifications on integrated design methodology using a multi-view product model. In *System Design and Analysis Conference*, number p.101-108, Montpellier, 1996.
- [Tix01] B. Tixier. La problématique de la gestion des connaissances. Technical report, Institut de recherche en informatique de Nantes, 2001.
- [Tol01] M. Tollenaere. Le système d'information produit : un indispensable support à l'ingénierie concourante. In *Journées de recherche "Concurrent engineering" Club Génie Industriel*, Paris, Janvier 2001.
- [Tud06] H. Tudor. Modélisation des processus métiers : État de l'art et conseils pratiques. Projet : SPINOV, 2006.
- [UTTO90] Y. Umeda, H. Takeda, T. Tomyama, and H.Y. Oshikawa. Function, behavior, and structure. In *AIENG '90 Applications of AI in Engineering*, page 177–193, 1990.
- [Ver99] F. Vernadat. *Techniques de modélisation en Entreprise : Applications aux processus opérationnels*. Ed. Economica, 1999.
- [VHVDSK96] G. Van Heijst, R. Van Der Spek, and E. Kruizinga. *Organizing corporate memories*. 1996.
- [Vil98] V. Villemin. La représentation des connaissances axée sur les graphes conceptuels. In *Synthèse bibliographique, Faculté de Médecine Timone, Marseille*, 1998.
- [Vog88] C. Vogel. *Génie cognitif*. 1988.
- [Vog90] C. Vogel. *KOD : la mise en oeuvre*. 1990.
- [VR99] A.H. Verschoor and L. Reijnders. The use of lifecycle methods by seven major companies. *Journal of Cleaner Production*, pages p 375–382, 1999.
- [WCH00] S. Wilson, G.W. Cappelli, and M. Husman. e-learning : power for the knowledge economy. Technical report, Credit Suisse/First, 2000.
- [Zin99] H. Zingle. *La modésation des langues naturelles – Aspects théoriques et pratiques*. Ouvrage, 1999.

## Résumé

Les systèmes PLM (Product Lifecycle Management) permettent une traçabilité de l'information et facilitent la réduction du cycle de développement des produits. Ils ont vocation à fédérer l'ensemble des données techniques nécessaires à l'élaboration de nouveaux produits et contribuent aussi à l'amélioration des processus de l'entreprise. Nos travaux de thèse proposent une méthodologie globale de déploiement d'un système PLM qui intègre la dimension spécifique de la capitalisation des connaissances. A partir d'une formalisation des processus métier, des éléments de connaissance sont extraits et permettent d'enrichir le modèle de données. Ce modèle s'articule autour de deux axes : un axe "information" et un axe "connaissance". Chaque axe est composé de quatre étapes : identifier, modéliser, utiliser et évaluer. L'étape d'identification permet de définir le modèle de données du système et de repérer les activités nécessitant des connaissances métier particulières. La phase de modélisation consiste à paramétrer le système pour intégrer le modèle défini dans le PLM mais également formaliser les connaissances tacites extraites. L'utilisateur intervient ensuite dans le cadre de l'utilisation du système paramétré. Enfin, nous proposons d'évaluer le système d'un point de vue de la modélisation Produit, Process, Organisation mais également d'un point de vue des connaissances générées au sein du système.

L'étude de cas d'un processus d'appel d'offre de l'entreprise Marmillon SAS, sous-traitant de rang 2 dans le secteur de la plasturgie et spécialiste des processus d'injection et d'extrusion pour des pièces du secteur automobile, a permis de valider notre démarche.

**Mots-clés:** Système Information Produit, Processus métiers, PME/PMI, Connaissance, Indicateurs

## Abstract

PLM (Product Lifecycle Management) Systems allow traceability of information and facilitate the reduction of products development cycle. Besides the aspect related to information management, they aim at bringing together all technical data needed to develop new products and also they contribute to improve business processes. Our PhD work define a methodology of PLM system deployment that incorporates the knowledge capitalization dimension. Based on a business processes formalization, elements of knowledge are extracted and used to enrich the data model. This model revolves around two axes : an "information" axis and a "knowledge" axis. Each axis is divided into four steps : identify, model, use and evaluate. The identification stage is to define the data model of the system and activities requiring specific business knowledge. The modeling phase is to configure the system to integrate the defined model in the PLM system but also to formalize extracted tacit knowledge. Then comes the user through the use of the system. Finally, we propose to evaluate the system from product, process and organization modeling but also from generated knowledge within the system.

The case study of a process of bidding for the Marmillon SAS company which is a subcontractor in the field of plastics, specialist of injection and extrusion processes for automotive parts allow to validate our approach.

**Keywords:** Product Information System, Business process, SME/SMI, Knowledge, Indicators



