



**HAL**  
open science

# Contribution à la continuité des flux d'informations et de connaissances dans le lien conception-production

Vincent Cheutet

► **To cite this version:**

Vincent Cheutet. Contribution à la continuité des flux d'informations et de connaissances dans le lien conception-production. Génie mécanique [physics.class-ph]. Université de Technologie de Compiègne, 2012. tel-00801687

**HAL Id: tel-00801687**

**<https://theses.hal.science/tel-00801687>**

Submitted on 18 Mar 2013

**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.

## Habilitation à Diriger des Recherches

---

# Contribution à la continuité des flux d'informations et de connaissances dans le lien conception-production

---

Présentée par

**Vincent CHEUTET**

*Soutenue le 11/12/12, devant un jury composé de :*

Pr. Alain BERNARD	Ecole Centrale de Nantes	Président
Pr. Benoit EYNARD	UT de Compiègne	Rapporteur
Pr. Bernard GRABOT	ENI Tarbes	Rapporteur
Pr. Dimitris KIRITSIS	EPF Lausanne	Rapporteur
Pr. Emmanuel CAILLAUD	Université de Strasbourg	Examineur
Pr. Damien TRENTESAUX	ENSIAME	Examineur
Pr. Marc ZOLGHADRI	SUPMECA	Examineur
Pr. Samir LAMOURI	Arts et Métiers ParisTech	Garant de Recherche



*A Coralie, pour ton soutien et ta patience durant toutes ces années.*

*A Gabriel qui, avec son sourire, me permet d'oublier quelques instants le monde de la recherche.*



# Remerciements

Je souhaite remercier en premier les membres de mon jury d'Habilitation à Diriger des Recherches, pour leur implication et les questions/discussions que cette présentation a amenées. Merci à Alain Bernard d'avoir accepté de présider ce jury, à MM. Bernard GRABOT, Dimitris KIRITSIS et Benoit EYNARD d'avoir rapporté sur ce manuscrit et à MM. Emmanuel CAILLAUD et Damien TRENTESAUX d'être présents ce jour comme examinateur.

Tout mon respect et mes remerciements à Samir LAMOURI, pour la chance qu'il m'a donnée lors de mon recrutement à SUPMECA et ces années de collaboration qui m'ont permis de présenter ce manuscrit. Merci aussi à Alain RIVIERE de la confiance accordée, en particulier pour co-encadrer avec lui une thèse.

Ce travail est aussi le résultat de celui de toute une équipe (passé et présent) avec qui j'ai eu un grand plaisir à travailler et plus encore à vivre avec, durant ces dernières années. Merci pour leur soutien lors de l'écriture et la préparation de la soutenance. Un grand merci donc à Véronique, Roberta, Patrice, Caroline, Florent, Marc, Christel mais aussi Thomas, Ludovic, Ronan, Mohamed, Vincent, Frédéric, Hervé, Sarah, Alexandre et tous les membres du LISMMA et de SUPMECA, ainsi que les collègues et partenaires des différents projets auxquels j'ai pu participer.



# Table des matières

<b>Liste des figures</b>	<b>x</b>
<b>Liste des tableaux</b>	<b>xi</b>
<b>Liste des abréviations</b>	<b>xiii</b>
<b>Préambule</b>	<b>1</b>
<b>I Notice individuelle</b>	<b>3</b>
<b>1 Curriculum Vitae</b>	<b>5</b>
1.1 Formations . . . . .	5
1.2 Expériences professionnelles . . . . .	6
<b>2 Activités d’enseignement</b>	<b>7</b>
2.1 Responsabilités pédagogiques . . . . .	7
2.2 Enseignements à SUPMECA Paris . . . . .	7
2.3 Enseignements à l’ENSGI (2006-2007) . . . . .	9
2.4 Enseignements à l’ENSHMG (2003-2006) . . . . .	9
<b>3 Activités de recherche</b>	<b>11</b>
3.1 Responsabilités au LISMMA . . . . .	11
3.2 Introduction à mes travaux de recherche . . . . .	11
3.2.1 Interopérabilité des systèmes d’information . . . . .	11
3.2.2 Gestion des objets de connaissances . . . . .	12
3.2.3 Gestion de la cohérence des informations . . . . .	12

3.3	Encadrements scientifiques . . . . .	13
3.3.1	Encadrement Master 2 . . . . .	13
3.3.2	Encadrement de doctorat . . . . .	13
3.4	Projets de recherche et collaborations industrielles . . . . .	15
3.5	Publications et communications scientifiques . . . . .	16
3.5.1	Journal international avec comité de lecture . . . . .	16
3.5.2	Livres et chapitres d'ouvrages . . . . .	16
3.5.3	Actes de conférences internationales avec comité de lecture . . . . .	17
3.5.4	Actes de conférences nationales avec comité de lecture . . . . .	18
3.5.5	Présentation invitée . . . . .	19
3.6	Synthèse . . . . .	19
<b>4</b>	<b>Participation à la vie scientifique et responsabilités administratives</b>	<b>21</b>
4.1	Expertise scientifique . . . . .	21
4.2	Diffusion scientifique et pédagogique . . . . .	21
4.3	Implication dans la vie scientifique et administrative locale . . . . .	21
<b>II</b>	<b>Travaux de recherche</b>	<b>23</b>
<b>5</b>	<b>Introduction</b>	<b>25</b>
<b>6</b>	<b>Interopérabilité des systèmes d'information</b>	<b>29</b>
6.1	Quelle interopérabilité? . . . . .	29
6.1.1	Système d'information - définition . . . . .	29
6.1.2	Systèmes d'information métiers . . . . .	31
6.1.3	Interopérabilité des systèmes d'information . . . . .	33
6.2	Interopérabilité technique par une médiation multi-niveaux . . . . .	35
6.3	Interopérabilité sémantique par unification . . . . .	36
6.4	Applications . . . . .	40
6.4.1	Médiation intra-phase par standards : exemple de l'interopérabilité CAO / PDM . . . . .	40
6.4.2	Médiation inter-phase par standards : exemple de l'interopérabilité PDM / ERP . . . . .	42
6.4.3	Médiation intra-phase par modèle ad-hoc : exemple de l'interopérabilité CAE/PDM . . . . .	44

6.5	Médiation inter-phase par modèle ad-hoc pour définir un SI . . . . .	47
6.6	Conclusion . . . . .	48
<b>7</b>	<b>Gestion de la cohérence des informations</b>	<b>51</b>
7.1	Les ontologies comme support de la cohérence . . . . .	51
7.2	Raisonnement pour enrichir les informations d'une maquette numérique . . . . .	53
7.3	Raisonnement lors d'échanges d'informations . . . . .	54
7.3.1	Product Design Ontology pour modéliser la dynamique d'une forme dans le processus de conception . . . . .	54
7.3.2	Gestion de la cohérence des informations de simulation en Usine Numérique	56
7.4	Conclusion . . . . .	58
<b>8</b>	<b>Gestion des objets de connaissances en conception</b>	<b>61</b>
8.1	Diffusion des objets de connaissance . . . . .	61
8.2	Description du modèle conceptuel . . . . .	64
8.3	IKOES . . . . .	65
8.4	PKMS . . . . .	66
8.5	Conclusion . . . . .	67
<b>9</b>	<b>Perspectives et projet de recherche</b>	<b>69</b>
9.1	Le Lean Product Development . . . . .	70
9.2	Traçabilité des informations et des connaissances dans le lien conception-production	73
9.3	Agilité des systèmes d'information . . . . .	75
	<b>Bibliographie</b>	<b>76</b>



# Table des figures

2.1	Exemples de résultats de projets de synthèse : a) Maquette numérique d'implantation de ligne d'assemblage pour EADS IW, b) Proposition d'implantation d'un nouvel atelier pour Aubert & Duval . . . . .	9
3.1	Répartition temporelle des encadrements. . . . .	19
3.2	Répartition temporelle des publications. . . . .	20
5.1	Les ambiguïtés sémantiques comme filtre à une bonne collaboration conception / production (d'après [Paviot, 2010]). . . . .	26
5.2	Divergence du flux de connaissances (d'après [Grundstein, 2002]). . . . .	27
6.1	Le système d'information greffé entre le système opérant et le système de pilotage (d'après [Le Moigne, 1977]). . . . .	29
6.2	Des données techniques dispersées sur des SI très hétérogènes (d'après [Paviot, 2010]).	32
6.3	Cartographie des systèmes d'information sur les principaux processus d'entreprises (d'après [Ben Khedher <i>et al.</i> , 2012]). . . . .	33
6.4	Comparaison des approches point-à-point / médiateur pour l'interopérabilité technique (d'après [Paviot, 2010]). . . . .	35
6.5	L'interopérabilité des SI par médiation (d'après [Bénaben <i>et al.</i> , 2008]). . . . .	36
6.6	Médiation multi-échelle (d'après [Paviot, 2010]). . . . .	37
6.7	Cartographie 2D des standards du PLM (d'après [Rachuri <i>et al.</i> , 2008]). . . . .	38
6.8	Cartographie 3D du standard STEP (d'après [Paviot, 2010]). . . . .	39
6.9	a) Modèle graphe des dépendances entre fichiers CAO pour une maquette numérique, b) Modèle graphe de la structure produit PDM. . . . .	41
6.10	Méta-modèle d'unification pour l'interopérabilité CAO/PDM (d'après [Paviot <i>et al.</i> , 2011b]).	42
6.11	Comparaison EBOM-MBOM sur un exemple simple. . . . .	43
6.12	Diagramme UML pour le méta-modèle d'unification (d'après [Paviot <i>et al.</i> , 2011a]).	44
6.13	Architecture fonctionnelle orientée Services (d'après [Paviot <i>et al.</i> , 2011a]). . . . .	45

6.14	Réseau des relations entre données produit et données CAE. . . . .	45
6.15	Structure principale commune à toutes les <i>Simulation_Task</i> (d'après [Buda <i>et al.</i> , 2011]). . . . .	46
6.16	Modèle d'information de simulation (d'après [Ayadi <i>et al.</i> , 2011]). . . . .	48
6.17	Implémentation d'Info SIM (d'après [Costa Affonso <i>et al.</i> , 2012]). . . . .	49
6.18	Schéma d'interopérabilité. . . . .	49
7.1	Classification de l'utilisation des ontologies (d'après [Fortineau <i>et al.</i> , 2011]) . . . . .	52
7.2	Processus d'instanciation du modèle sémantique. . . . .	54
7.3	Éléments principaux de la PDO (d'après [Catalano <i>et al.</i> , 2009]). . . . .	55
7.4	Scénario d'usage de la PDO (d'après [Catalano <i>et al.</i> , 2009]). . . . .	56
7.5	Diversité des simulations présentes dans l'Usine Numérique (d'après [Cheutet <i>et al.</i> , 2010]). . . . .	57
7.6	Spécifications de l'architecture de l'environnement (d'après [Cheutet <i>et al.</i> , 2011]). . . . .	57
7.7	Modèle sémantique simplifié de l'Usine Numérique, décrit par son ontologie (d'après [Cheutet <i>et al.</i> , 2011]). . . . .	58
8.1	Architecture 4 cœurs du modèle conceptuel (d'après [Louis-Sidney, 2011]). . . . .	64
8.2	Architecture du démonstrateur (d'après [Louis-Sidney <i>et al.</i> , 2012a]). . . . .	65
8.3	Extrait du cœur Données. . . . .	67
8.4	Extrait du cœur Activités. . . . .	67
8.5	Extrait du cœur Processus. . . . .	68
8.6	Extrait du cœur Structuration. . . . .	68
9.1	Organisation des contributions scientifiques. . . . .	69
9.2	Projection des perspectives. . . . .	70
9.3	Description de la Lean Innovation Roadmap (d'après [Hoppmann, 2009]). . . . .	72
9.4	De l'analyse de l'existant à la création de valeur (d'après [Ueda <i>et al.</i> , 2008]). . . . .	72
9.5	Caractéristiques d'un SI pour une production agile (d'après [Coronado <i>et al.</i> , 2002]). . . . .	76

# Liste des tableaux

3.1	Synthèse des publications. . . . .	20
6.1	Quelques travaux sur des problèmes d'interopérabilité dans le champ du PLM. . .	34
6.2	Différents cas d'application . . . . .	40
8.1	Bilan des méthodes et outils utilisés en capitalisation des connaissances (d'après [Louis-Sidney, 2011]) . . . . .	63
8.2	Description des éléments du démonstrateur. . . . .	66
9.1	Caractéristiques du LPD numérotées (d'après [Hoppmann, 2009]) - Partie 1/2. . .	77
9.2	Caractéristiques du LPD numérotées (d'après [Hoppmann, 2009]) - Partie 2/2. . .	78



# Liste des abréviations

APS	Advanced Planning and Scheduling
CAE	Computer Aided Engineering
CAO	Conception Assistée par Ordinateur
CIM	Computer Integrated Manufacturing
	Computation Independent Model
CRM	Customer Relationship Management
DMU	Digital Mock-Up
EBOM	Engineering Bill Of Material
ERP	Enterprise Resource Planning
IKOES	Inter-Knowledge Objects Exchange System
KMT	Knowledge Management Tool
LPD	Lean Product Development
MBOM	Manufacturing Bill Of Material
MDA	Model Driven Architecture
MES	Manufacturing Execution System
MRP	Manufacturing Resource Planning
OLDP	On-Line Digital Production
PDM	Product Data Management
PDO	Product Design Ontology
PDP	Processus de Développement de Produit
PEID	Product Embedded Information Devices
PIM	Platform Independent Model
PKMS	Process oriented Knowledge Management System
PKO	Parametrised Knowledge Object
PLCS	Product Life Cycle Support
PLM	Product Lifecycle Management
PSM	Platform Specific Model
QCEC	Quantum de Connaissances Explicites Codifiées
SI	Système d'Information
SLM	Simulation Lifecycle Management
SOAP	Simple Object Access Protocol
STEP	Standard for the Exchange of Product model data
TIC	Technologies de l'Information et des Communications
UML	Unified Modeling Language
UN	Usine Numérique



# Préambule

Ce manuscrit d'Habilitation à Diriger les Recherches synthétise mes activités d'enseignant-chercheur depuis ma soutenance de thèse en 2006 et mon intégration en tant que maître de conférences en 2007 à l'Institut Supérieur de Mécanique - SUPMECA Paris et au Laboratoire d'Ingénierie des Systèmes Mécaniques et des Matériaux - LISMMA EA2336.

Mes activités d'enseignement se sont intégrées principalement au sein de l'équipe pédagogique du département **Systèmes de Production et Logistique**, avec la création à mon arrivée et celle de Thomas PAVIOT du parcours **Usine Numérique**.

Dans le fil des conclusions du mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches du Pr. Samir LAMOURI [Lamouri, 2006], l'équipe "Optimisation des Systèmes Industriels et Logistique" (OSIL) a été rebaptisée en 2007 "Conception et Optimisation des Systèmes Industriels" (COSI). Ce changement de nom s'est accompagné d'une redéfinition des objectifs de recherche : la thématique "PLM et Logistique" a été initiée pour lier les compétences du LISMMA en production et en conception, dans l'objectif de répondre aux nouveaux défis scientifiques identifiés. Mon intégration répondait alors à ce contexte. Depuis 2007, j'ai pu co-encadrer trois thèses de doctorat, dont deux soutenues.

Le présent manuscrit est structuré en deux parties.

La première partie présente ma notice individuelle où figurent mon curriculum vitae, un résumé de mes activités d'enseignement et de recherche, mes activités d'encadrement, mes publications, mes relations industrielles et universitaires ainsi que mes activités administratives et d'animation de la recherche.

La deuxième partie, qui constitue le cœur du document, est la synthèse de mes activités de recherche, portant sur la continuité des flux d'informations et de connaissances dans le lien conception-production. Cette partie est composée de 5 chapitres :

- le premier chapitre positionne le contexte de mes travaux et introduit le besoin en continuité des flux entre la conception et la production,
- les chapitres suivants présentent la synthèse de mes travaux de recherche, portant sur l'interopérabilité des Systèmes d'Information (chapitre 6), la gestion des objets de connaissances (chapitre 8) et la gestion de la cohérence informationnelle (chapitre 7),
- le dernier chapitre développe mon projet de recherche.



Première partie

Notice individuelle



# Chapitre 1

## Curriculum Vitae

Vincent CHEUTET

Né le 5 septembre 1980 à Abbeville (80)

Nationalité française - marié, un enfant

Maître de Conférences, classe normale 5<sup>e</sup> échelon

*Etablissement de rattachement* : Institut Supérieur de Mécanique - SUPMECA Paris

*Laboratoire de rattachement* : Laboratoire d'Ingénierie des Systèmes Mécaniques et des Matériaux - LISMMA EA2326

### 1.1 Formations

- Mars 2008 Titulaire du **BSCM** (Basics of Supply Chain Management) délivré par l'APICS (Association for Operations Management)
- Février 2007 **Qualification** aux fonctions de Maître de Conférences en section 60
- 12 Octobre 2006 **Docteur** en Mécanique & Energétique, option Mécanique Conception Géomécanique Matériaux, Institut National Polytechnique de Grenoble  
**Dottore** di Ricerca Specialità Meccanica e Costruzione delle Macchine, Università degli studi di Genova (Gênes - Italie)  
**Titre** : Towards semantic modelling of free-form mechanical products  
*Directeurs* : J-C. LÉON (3S) & B. FALCIDIENO (IMATI)  
*Co-encadrant* : F. GIANNINI (IMATI)  
*Jury* :  
R.C. MICHELINI, Président, Université de Gênes (Italie)  
J. GERO, Rapporteur, Université de Sidney (Australie)  
I. HORVATH, Rapporteur, Université de Delft (Pays-Bas)  
D. BECHMANN, Examineur, Université de Strasbourg  
J.P. PERNOT, Examineur, ENSAM Aix-en-Provence
- 2003 **DEA** en Mécanique : Conception, Géomécanique, Matériaux, Université Joseph Fourier, Grenoble, mention Bien

- 2002      **Agrégation de mécanique**, 2nd, préparée à l'E.N.S. Cachan
- 1999      Entrée à l'**Ecole Normale Supérieure de Cachan**, département mécanique
- 1997-1999   **Classes préparatoires** au lycée Louis-le-Grand à Paris 5ième
- 1997      **Baccalauréat** série S option SVT, mention Très Bien

## 1.2 Expériences professionnelles

- Depuis  
2007      **Maître de Conférences** au LISMMA - SUPMECA, Saint-Ouen
- 2006-2007   **1/2 ATER** à l'ENSGI (Ecole Nationale Supérieure de Génie Industriel), Grenoble
- 2003-2006   **Moniteur** à l'ENSHMG (Ecole Nationale Supérieure d'Hydraulique et Mécanique de Grenoble), Grenoble

## Chapitre 2

# Activités d'enseignement

Mon recrutement à SUPMECA résultait de la volonté de créer un parcours intitulé **Usine Numérique** au sein du département **Système de Production**, pour former des ingénieurs aux outils logiciels et méthodologies permettant de concevoir, simuler, optimiser et mettre en œuvre les systèmes de production, en lien avec les autres métiers de l'entreprise et surtout les concepteurs de produits.

En septembre 2009, une réforme de la maquette pédagogique de SUPMECA a entraîné la complète intégration de ce parcours dans un nouveau parcours intitulé **Système de Production & Logistique**, dont j'ai pris la co-responsabilité à partir de septembre 2010.

### 2.1 Responsabilités pédagogiques

Co-créateur avec Thomas PAVIOT en septembre 2007 de la spécialité de dernière année "Usine Numérique" au sein du département Systèmes de Production.

**Référent de la spécialité de dernière année UN (Usine Numérique) :**

- Septembre 2009 - Septembre 2010,
- environ 20 étudiants par an,
- responsable de la maquette pédagogique, des vacataires (choix, suivi), de l'emploi du temps (en coordination avec la scolarité SUPMECA).

**Référent de la spécialité de dernière année SPL (Systèmes de Production & Logistique) :**

- depuis Septembre 2010,
- environ 40 étudiants par an,
- responsable de la maquette pédagogique, des vacataires (choix, suivi), de l'emploi du temps (en coordination avec la scolarité SUPMECA).

### 2.2 Enseignements à SUPMECA Paris

*Statut* : maître de conférences

*Domaines* : Simulation des systèmes de production, PLM, gestion de configuration, gestion de projet, qualité en production (MSP), CAO, suivi de projet de synthèse, suivi de stage de fin d'études

Détails des enseignements : 220h eq TD (année type)

– 1<sup>ière</sup> année (niveau L3) :

Module	Intervenant responsable	Volume horaire	Thèmes
<b>MILO</b> - Management Industriel & Logistique	intervenant	1 TD de 2h (4 fois)	Traitement et préparation de commandes
<b>QUAL</b> - Qualité	intervenant	4 cours de 1h30	Maitrise statistique des procédés, Qualité en conception

– 2<sup>ème</sup> année (niveau M1), parcours SPL :

<b>EVAL</b> - Evaluation de performances	intervenant	2 cours de 4h	Implantation de systèmes de production, Introduction à l'Usine Numérique
<b>MSPR</b> - Maitrise statistique des procédés	responsable	6 cours de 3h	Maitrise statistique des procédés
<b>PPLM</b> - Product Process Lifecycle Management	responsable	1 cours de 3h, 7 TD de 4h	Introduction au PLM et PDM

– 3<sup>ème</sup> année (niveau M2), tronc commun :

<b>MPRO</b> - Gestion de projet	responsable	1 cours de 4h, 5 TD de 4h	Structuration d'un projet, Planification de projet, Gestion de l'équipe projet
---------------------------------	-------------	---------------------------	--

– 3<sup>ème</sup> année (niveau M2), parcours SPL :

<b>COPP</b> - Configuration Produit Process	responsable	1 cours de 4h, 7 TD de 4h	Gestion de configurations, Lien conception - industrialisation
<b>CACF</b> - Conception Avancée de Cellule Flexible	responsable	8 TD de 4h	Simulation d'opérations d'assemblage, Simulation d'opérations robotisées, Simulation ergonomique de poste de travail

– 2<sup>ème</sup> année (niveau M1), tronc commun : Encadrement de projets tutorés d'étudiants (**PRBE** - Projet Bureau d'Etudes) : 1 groupe de 4 étudiants par an

– 3<sup>ème</sup> année (niveau M2), parcours SPL : Encadrement de projets tutorés d'étudiants (**PSYN** - Projet de Synthèse) : 1 groupe de 10 étudiants par an

– Exemple : Implantation d'une ligne aéronautique (avec EADS IW) (figure 2.1.a), Implantation d'un atelier de parachèvement (avec Aubert & Duval) (figure 2.1.b)

– Suivi de stages :

– Stages Assistant Ingénieur (2<sup>ème</sup>) en entreprise : 3 par an,

– Stages de fin d'études (3<sup>ème</sup>) en entreprise : 7 par an

*Vacations* :

– Décembre 2009 : **Université de Technologie de Compiègne**, Département GSM (Génie

- des Systèmes Mécaniques), 1 cours de 2h intitulé "Introduction à l'Usine Numérique",
- Avril 2010 & avril 2011 : **Ecole Centrale de Paris**, Filière 3ème année CISI (Conception et Industrialisation de Systèmes Innovants), 1 cours de 3h intitulé "Industrialisation et usine virtuelle",
  - Novembre 2010 : **Agro ParisTech**, UV 418 Gestion de la qualité, 1 cours de 8h intitulé "Le jeu de l'ingénierie concurrente".

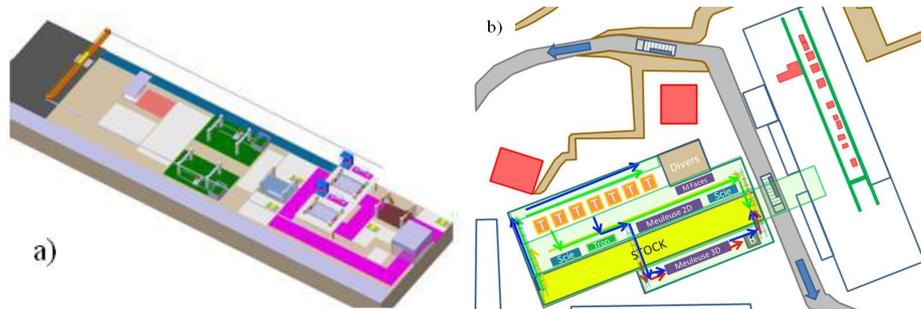


FIGURE 2.1 – Exemples de résultats de projets de synthèse : a) Maquette numérique d'implantation de ligne d'assemblage pour EADS IW, b) Proposition d'implantation d'un nouvel atelier pour Aubert & Duval

## 2.3 Enseignements à l'ENSGI (2006-2007)

**Statut** : 1/2 ATER

**Domaine** : mécanique, CAO, PLM

**Détails des enseignements** :

Module	Intervenant responsable	Volume horaire	Thèmes
MMC (niveau L3)	intervenant	32h TD (4 fois) et 18h TP (1 groupe)	Introduction à la mécanique des milieux continus, simulation par Éléments Finis
<b>Conception et Procédés</b> (niveau M1)	intervenant	18h TP (1 groupe)	Conception intégrée produit-processus pour procédés de pliage et d'usinage
CAO (niveau M1)	intervenant	40h TP (2 groupes)	Modélisation géométrique, assemblage, paramétrage
PLM (niveau M2)	intervenant	9h cours (1 groupe)	Projet de conception collaborative

## 2.4 Enseignements à l'ENSHMG (2003-2006)

**Statut** : moniteur

**Domaine** : mécanique, CAO, conception et technologie

**Détails des enseignements** :

Module	Intervenant responsable	Volume horaire	Thèmes
<b>Mise à niveau technologie</b> (niveau L3) 2003-2005	intervenant	48h TD (1 groupe)	Dessin technique, composants technologiques
<b>Technologie</b> (niveau L3) 2003-2005	intervenant	76h TD (1 groupe)	Conception intégrée produit-processus de systèmes mécaniques
<b>Eléments Finis</b> (niveau M1) 2003-2005	intervenant	28h TD (1 groupe)	Introduction à la mécanique des milieux continus, simulation par Eléments Finis
<b>Modélisation Géométrique</b> (niveau M1) 2005-2006	intervenant	8h TD (1 groupe)	Introduction à la CAO
<b>Mécanique Générale</b> (niveau L3) 2005-2006	intervenant	32h TD (2 groupes)	Mécanique du point, du solide, formulation énergétique

## Chapitre 3

# Activités de recherche

### 3.1 Responsabilités au LISMMA

**Animateur de l'axe COSI** (Conception et Optimisation des Systèmes Industriels) (4 MCF + 1 ATER + 3 doctorants) de l'équipe Ingénierie Numérique, depuis le 01/09/10,

Membre élu au conseil du laboratoire, depuis 01/05/10.

### 3.2 Introduction à mes travaux de recherche

Lors de mon recrutement au LISMMA, j'ai intégré l'axe COSI (Conception et Optimisation des Systèmes Industriels) de l'équipe Ingénierie Numérique. Mes thématiques de recherche ont contribué à la continuité des flux d'informations et de connaissances, dans le lien conception-production, et en particulier :

- L'amélioration de l'interopérabilité des systèmes d'information support des activités de conception (i.e. PDM) et production (i.e. ERP),
- L'organisation et la gestion des objets de connaissances en conception, dans une optique de meilleure diffusion au sein des équipes projet,
- L'amélioration de la cohérence des informations entre vues métiers, en particulier autour du processus d'Usine Numérique.

#### 3.2.1 Interopérabilité des systèmes d'information

La continuité et la conservation des flux d'informations entre les métiers de la conception et de la production ne sont pas assurées, du fait d'une part de l'hétérogénéité des systèmes d'information support à ces métiers et d'autre part de la forte distance sémantique entre ces deux métiers.

Les travaux de thèse de Thomas PAVIOT, intitulés "Méthodologie de résolution des problèmes d'interopérabilité dans le domaine du PLM", co-encadrés avec Pr. S. LAMOURI, ont proposé une méthodologie pour assurer l'interopérabilité des SI PDM et ERP. Cette méthodologie assure une continuité technique entre SI en proposant l'adoption d'une architecture de médiation multi niveaux orienté services. Elle assure aussi la continuité sémantique en s'appuyant sur un méta-modèle d'unification basé sur le standard STEP PLCS (Product Life Cycle Support).

Dans la continuité de ces travaux, les travaux de thèse de Mohamed AYADI, intitulés "Méthodologie de conception et simulation collaborative en Usine Numérique", co-encadrés avec Pr. A. RIVIERE, Pr. M HADDAR, Pr. F MASMOUDI et Dr R. COSTA AFFONSO, proposent un système d'information dédié à la gestion des informations nécessaires, créées et utilisées, dans le cadre de l'Usine Numérique.

Ces travaux ont été validés par le développement de démonstrateurs logiciels et ont fait l'objet de trois publications dans des revues internationales [JI1], [JI4] et [JI5] et de communications nationales et internationales [CI2], [CI3], [CI5], [CI8], [CI10], [CN2] et [CN6].

### 3.2.2 Gestion des objets de connaissances

Les projets de conception routinière étant fortement majoritaire à l'heure actuelle dans l'industrie manufacturière, la maîtrise du patrimoine des connaissances d'une organisation devient un élément critique. Cependant, si les travaux sur la capitalisation des connaissances ont aujourd'hui une certaine maturité, la revalorisation des connaissances dans un nouveau projet reste en deçà des attentes.

Dans ce cadre, les travaux de thèses de Ludovic LOUIS-SIDNEY, intitulé "Modèles et outils de capitalisation des connaissances en conception", co-encadrés avec Pr. S. LAMOURI, proposent un modèle conceptuel permettant de structurer les outils supports des connaissances d'un organisme en tenant compte d'une logique processus.

Ce modèle a mené au développement de deux démonstrateurs de systèmes d'information. Le premier - IKOES (Inter-Knowledge Objects Exchange System) - automatise l'échange de valeurs de paramètres entre fichiers paramétrés. Le second - PKMS (Process oriented Knowledge Management System) - propose un système de gestion des connaissances tenant compte de l'interaction existante entre outils supports des connaissances et processus métiers de reconception.

Ces travaux ont fait l'objet d'une publication dans une revue internationale [JI2] et de communications nationales et internationales [CI1], [CI9] et [CN1].

### 3.2.3 Gestion de la cohérence des informations

Au sein d'un même système d'information, peu de mécanismes assurent la cohérence entre les informations et les connaissances stockées, introduisant ainsi des risques de gaspillage, au sens du lean management.

Pour assurer la conservation de la cohérence lors d'échanges de données et d'informations et en tenant compte de la dynamique des processus présents dans une démarche de conception, j'ai proposé l'utilisation d'ontologies et de moteur d'inférences.

Ces travaux ont fait l'objet d'une publication dans une revue internationale [JI6] et de communications internationales [CI4], [CI6] et [CI7].

### 3.3 Encadrements scientifiques

#### 3.3.1 Encadrement Master 2

**Frédéric CAMPANICO**

*Titre* : Recherche d'informations dans une maquette numérique

*Tuteurs* : Jean-Claude LEON (G-SCOP - INPG) - Vincent CHEUTET (G-SCOP - INPG)

*Master 2* : CCI (Compétences Complémentaires en Informatique) - Université Joseph Fourier - Grenoble

*Date de début* : 1er mai 2007

*Date de soutenance* : 17 septembre 2007

#### 3.3.2 Encadrement de doctorat

**Thomas PAVIOT**

*Titre* : Méthodologie de résolution des problèmes d'interopérabilité dans le domaine du PLM

*Directeur* : Samir LAMOURI (LISMMA - SUPMECA) - 50%

*Encadrant* : Vincent CHEUTET (LISMMA - SUPMECA) - 50%

*Ecole Doctorale* : Sciences pour l'Ingénieur (ED287) - Ecole Centrale de Paris

*Type de contrat* : PRAG

*Fonction actuelle* : Professeur en CPGE, chercheur associé à Arts et Métiers ParisTech

*Date de début* : 1<sup>er</sup> septembre 2007

*Date de soutenance* : 1er juillet 2010

*Qualification* : sections 60 & 61 obtenues en février 2011

*Jury* :

A. Bouras	Université de Lyon	Président
M. Gourgand	ISIMA Clermont-Ferrand	Rapporteur
B. Grabot	ENI Tarbes	Rapporteur
L. Roucoules	Arts et Métiers ParisTech	Rapporteur
A. Rivière	SUPMECA Paris	Examineur
S. Lamouri	SUPMECA Paris	Directeur
V. Cheutet	SUPMECA Paris	Co-encadrant

**Ludovic LOUIS SIDNEY**

*Titre* : Modèles et outils de capitalisation des connaissances en conception - Contribution au management et à l'ingénierie des connaissances chez Renault - DCT

*Directeur* : Samir LAMOURI (LISMMA - SUPMECA) - 50%

*Encadrant* : Vincent CHEUTET (LISMMA - SUPMECA) - 50%

*Ecole Doctorale* : Sciences pour l'Ingénieur (ED287) - Ecole Centrale de Paris

*Partenaire industriel* : Renault

*Type de contrat* : thèse CIFRE

*Fonction actuelle* : ingénieur R&D à EDF

*Date de début* : 1<sup>er</sup> janvier 2009

*Date de soutenance* : 8 décembre 2011

*Jury* :

A. Bernard	Ecole Centrale de Nantes	Président
B. Eynard	Université Technologie de Compiègne	Rapporteur
L. Geneste	ENI Tarbes	Rapporteur
E. Caillaud	Université de Strasbourg	Examineur
A. Rivière	SUPMECA Paris	Examineur
S. Lamouri	SUPMECA Paris	Directeur
V. Cheutet	SUPMECA Paris	Co-encadrant

### **Mohamed AYADI**

*Titre* : Prototypage d'un système d'information pour la conception et la simulation collaborative en Usine Numérique

*Directeurs* : Alain RIVIERE (LISMMA - SUPMECA), Mohamed HADDAR (ENI Sfax, Tunisia), Fouazi MASMOUDI (ENI Sfax, Tunisia)

*Co-encadrants* : Roberta COSTA AFFONSO (LISMMA - SUPMECA), Vincent CHEUTET (LISMMA - SUPMECA)

*Ecole Doctorale* : Sciences pour l'Ingénieur (ED287) - Ecole Centrale de Paris & Université de Sfax

*Type de contrat* : enseignant ENI Sfax

*Date de début* : 1<sup>er</sup> septembre 2010

*Date de soutenance prévue* : 16 janvier 2013

### **Sarah EL GAMOUSSI**

*Titre* : Proposition d'une méthodologie de planification de produits conçus à la demande basée sur une approche Lean

*Directeurs* : Vincent CHEUTET (LISMMA - SUPMECA)

*Co-encadrants* : Roberta COSTA AFFONSO (LISMMA - SUPMECA),

*Ecole Doctorale* : Sciences pour l'Ingénieur (ED287) - Ecole Centrale de Paris

*Partenaire industriel* : EXXELIA

*Type de contrat* : thèse CIFRE

*Date de début* : 1<sup>er</sup> novembre 2012

### 3.4 Projets de recherche et collaborations industrielles

#### OLDP - On Line Digital Production

*Type de projet* : 6<sup>ième</sup> FUI via SYSTEM@TIC (pôle de compétitivité)

*Durée* : du 01/07/2009 au 31/12/2010

*Partenaires* : EADS (leader), Dassault Aviation, Altis, Dassault Systèmes, IBM (ex ILOG), Intercim, Trochet, CEA, INRIA, LISMMA - SUPMECA

*Montant du contrat* : 3 M€ (dont 100 k€ pour LISMMA - SUPMECA, ayant entre autre permis le recrutement d'un ingénieur d'études - Ronan DERROISNE - sur la durée du projet)

*Rôle* : porteur du projet côté LISMMA - SUPMECA

*Description* : Le projet vise à proposer, pour la future plate-forme Digital Factory du pôle SYSTEM@TIC, les premiers services en ligne de fabrication/production numérique. L'objectif est de rendre l'Usine Numérique opérationnelle sur toute la chaîne logistique, de la logistique avec les sous-traitants à la gestion détaillée des produits et outils au niveau de l'atelier.

Ce projet ne peut réussir qu'avec la participation collaborative de tous les acteurs, que ce soit durant la conception de la plate-forme ou son exploitation temps-réel.

A cette fin, il est nécessaire que l'accès à cette technologie soit en ligne. Ainsi, cela permet :

- d'obtenir la flexibilité essentielle pour la gestion agile de la chaîne logistique,
- de mettre en commun la création de données pour l'Usine Numérique avec l'aide de larges communautés : fabricants de machines, entreprises de numérisation du monde réel (routes, bâtiments, boutiques, etc.), consultants et fournisseurs de bonnes pratiques en production, partenaires de la chaîne logistique, laboratoires, universités, etc.,
- de complètement associer les PME à la chaîne logistique en leur permettant de les intégrer et de partager les processus de production.

*Publications* : ce projet a fait l'objet de communications internationales [CI4], [CI6] et [CI7].

#### Aalto University School of Science and Technology - Helsinki (Finlande)

*Type* : séjour de recherche

*Contacts* : William BRACE & Petri MAKKONEN

*Durée* : du 31/05/2010 au 25/06/2010

*Description* : deux actions de recherche ont été menées :

- la gestion des exigences dans le processus de conception,
- la gestion des fichiers de simulations produit, dans une approche de type SLM (Simulation Lifecycle Management).

*Publications* : ce séjour a fait l'objet d'une publication dans une revue internationale [JI3] et de communications internationales [CI3] et [CN5].

### 3.5 Publications et communications scientifiques

#### 3.5.1 Journal international avec comité de lecture

- JI1 *M. Ayadi*, R. Costa Affonso, **V. Cheutet**, F. Masmoudi, A. Rivière, M. Haddar, "*Conceptual model of information management for design in Digital Factory*", International Journal of Simulation Modelling, accepté, 2012.
- JI2 *L. Louis-Sidney*, **V. Cheutet**, S. Lamouri, O. Puron, A. Mezza, "*A conceptual model for the implementation of IKOES (an Inter-Knowledge Objects Exchange System) in automotive industry*", Engineering Applications of Artificial Intelligence, Vol. 5(5), pp. 1090-1101, 2012.
- JI3 W. Brace, **V. Cheutet**, "*A Framework to Support Requirements Analysis in Engineering Design*", Journal of Engineering Design, Vol. 23(12), pp. 876-904, 2012.
- JI4 *T. Paviot*, **V. Cheutet**, S. Lamouri, "*A PLCS framework for PDM / ERP interoperability*", International Journal of Product Lifecycle Management, Vol. 5(2/3/4), pp. 295-313, 2011
- JI5 *T. Paviot*, S. Lamouri, **V. Cheutet**, "*A generic MultiCAD / MultiPDM interoperability framework*", International Journal of Services Operations and Informatics, Vol. 6(1/2), pp. 124-137, 2011.
- JI6 C.E. Catalano, E. Camossi, R. Ferrandes, **V. Cheutet**, N. Sevilmis, "*A Product Design Ontology for enhancing shape processing in design workflows*", Journal of Intelligent Manufacturing, Vol. 20(5), pp. 553-567, 2009
- JI7 **V. Cheutet**, J.C. Léon, C.E. Catalano, F. Giannini, M. Monti, B. Falcidieno, "*Preserving car stylists' design intent through an ontology*", International Journal for Interactive Design and Manufacturing, Vol. 2(1), pp. 9-16, 2008.
- JI8 **V. Cheutet**, C.E. Catalano, F. Giannini, M. Monti, B. Falcidieno, J.C. Léon, "*Semantic-based operators to support car sketching*", Journal of Engineering Design, Vol. 18(5), pp. 395-411, 2007.
- JI9 **V. Cheutet**, M. Daniel, S. Hahmann, R. La Greca, J.C. Leon, R. Maculet, D. Menegaux, B. Sauvage, "*Constraint modeling for curves and surfaces in CAGD : a survey*", International Journal of Shape Modeling, Vol. 13(2), pp. 159-199, 2007.
- JI10 **V. Cheutet**, C.E. Catalano, J.P. Pernot, B. Falcidieno, F. Giannini, J.C. Léon, "*3D Sketching for Aesthetic Design using Fully Free Form Deformation Features*", Computer & Graphics, Vol. 29(6), pp. 916-930, 2005.

#### 3.5.2 Livres et chapitres d'ouvrages

- CO1 **V. Cheutet**, *T. Paviot*, S. Lamouri, "*L'usine numérique : conception et simulation collaborative d'une ligne d'assemblage final aéronautique*", In "Conception

et fabrication numériques : expériences pédagogiques à l'ENSA Paris-Malaquais", pp. 128-137, ed. Ecole nationale supérieure d'architecture Paris-Malaquais, 2011.

- CO2 C.E. Catalano, **V. Cheutet**, F. Giannini, B. Falcidieno, J. C. Leon, "*Semantic Modeling for Styling and Design*", in Progress in Industrial Mathematics at ECMI 2006 , Mathematics in Industry, Volume 12(2), pp. 724-728, 2008.

### 3.5.3 Actes de conférences internationales avec comité de lecture

- CI1 *L. Louis-Sidney*, **V. Cheutet**, S. Lamouri, O. Puron, A. Mezza, "*A design logistics support tool on an operational level*", Global Product Development - Proceedings of CIRP Design, pp. 535-544, ed. Springer, 2011.
- CI2 V. Fortineau, *T. Paviot*, S. Lamouri, **V. Cheutet**, "*The Cone-BOM model for consistent and minimal product structures representation*", Proceedings of PLM'11, Eindhoven - Pays Bas, 2011.
- CI3 A. Buda, P. Makkonen, R. Derroisne, **V. Cheutet**, "*PDM suitability study for CAE data management*", Proceedings of PLM'11, Eindhoven - Pays Bas, 2011.
- CI4 **V. Cheutet**, S. Lamouri, R. Derroisne, "*Proposition of a framework for consistency management between Digital Factory simulations*", Proceedings of IESM'11, Metz, 2011.
- CI5 *T. Paviot*, **V. Cheutet**, S. Lamouri, "*Semantic tags for generative multiview product breakdown*", Proceedings of PLM'10, Brême - Allemagne, 2010.
- CI6 R. Derroisne, **V. Cheutet**, S. Lamouri, R. Costa Affonso, B. Fricero, H. Falgarone, "*Multi-scales simulations in Digital Factory - Experiment on an aeronautical example*", Proceedings of IDMME - Virtual Concept 2010, Bordeaux - France, 2010.
- CI7 **V. Cheutet**, S. Lamouri, *T. Paviot*, R. Derroisne, "*Consistency management of simulation information in Digital Factory*", Proceedings of MOSIM'10, Hammamet - Tunisie, 2010.
- CI8 *T. Paviot*, **V. Cheutet**, S. Lamouri, "*Design and logistics IT federation through Product Lifecycle Support standard*", Proceedings of PLM'09, Bath - Royaume-Uni, 2009.
- CI9 *L. Louis-Sidney*, **V. Cheutet**, S. Lamouri, "*Discussion about the establishment of a support process model for logistics of design*", Proceedings of CMSM'2009, Hammamet - Tunisie, 16-18 mars, 2009.
- CI10 *T. Paviot*, P. Morenton, **V. Cheutet**, S. Lamouri, "*MultiCAD / MultiPDM integration framework*", Proceedings of PLM'08, Seoul - Corée, 9-11 Juillet, 2008.
- CI11 **V. Cheutet**, J.C. Léon, C.E. Catalano, F. Giannini, M. Monti, B. Falcidieno, "*Preserving car stylists' design intent through an ontology*", Proceedings of IDMME'06, Grenoble, 2006.
- CI12 **V. Cheutet**, C.E. Catalano, F. Giannini, M. Monti, B. Falcidieno, J.C. Léon, "*Semantic-based environment for aesthetic design*", Proceedings of TMCE'06, Ljubljana - Slovénie, 2006.

- CI13 **V. Cheutet**, B. Falcidieno, F. Giannini, J.P. Pernot, J.C. Léon, "*Extension of Fully Free-Form Deformation Features to planar functional areas*", Proceedings of CAID&CD'05, Delft - Pays-Bas, 2005.
- CI14 **V. Cheutet**, J.P. Pernot, J.C. Léon, B. Falcidieno, F. Giannini, "*Insertion of planar areas into free-form surfaces in early product design*", Proceedings of ASME-DETC'05, Long Beach - USA, 2005.
- CI15 **V. Cheutet**, J.P. Pernot, J.C. Léon, B. Falcidieno, F. Giannini, "*An extended shape grammar for intuitive manipulations of curves and surfaces*", Proceedings of SIAM-GDC'05, Phoenix - USA, 2005.
- CI16 **V. Cheutet**, J.P. Pernot, J.C. Léon, B. Falcidieno, F. Giannini, "*Inserting  $G^1$  discontinuities into free-form features for aesthetic design*", Proceedings of WSCG'04, Plzeň - République Tchèque, 2004.
- CI17 **V. Cheutet**, J.P. Pernot, J.C. Léon, B. Falcidieno, F. Giannini, "*Fully Free-Form Deformation Features ( $\delta - F^4$ ) incorporating discontinuities*", Proceedings of ASME-DETC'04, Salt Lake City - USA, 2004.
- CI18 **V. Cheutet**, C.E. Catalano, J.P. Pernot, B. Falcidieno, F. Giannini, J.C. Léon, "*3D Sketching with Fully Free Form Deformation Features ( $\delta - F^4$ ) for Aesthetic Design*", Proceedings of EW-SBIM'04, Grenoble, 2004.

### 3.5.4 Actes de conférences nationales avec comité de lecture

- CN1 R. Costa Affonso, **V. Cheutet**, M. Ayadi, A. Riviere, M. Haddar, "*Simulations dans le cycle de vie du produit : vers une meilleure gestion d'informations dans un projet de conception*", 1er Conférence Internationale sur La Gestion de Projet CIGP'12, Trois-Rivières, Canada, 25-26 Octobre, 2012.
- CN2 L. Louis-Sidney, **V. Cheutet**, S. Lamouri, O. Puron, A. Mezza, "*Proposition d'un système de gestion des connaissances orienté processus en conception*", 13ème Colloque National AIP PRIMECA, Mont Dore, 27-30 Mars, 2012.
- CN3 M. Ayadi, R. Costa Affonso, **V. Cheutet**, F. Masmoudi, A. Rivière, M. Haddar, "*Proposition d'un modèle d'intégration des simulations pour l'Usine Numérique*", 7ème conférence CPI (Conception & Production Intégrées), Oujda - Maroc, 19-21 Octobre, 2011.
- CN4 R. Costa Affonso, **V. Cheutet**, "*Lean Product Development : analyse et confrontation aux méthodes de conception*", 9ième Congrès International de Génie Industriel CIGI'11, Saint-Sauveur (Canada), 12-14 Octobre, 2011.
- CN5 A. Budda, R. Derroisne, **V. Cheutet**, P. Makkonen, S. Lamouri, "*Towards the management of product simulation data*", 12ième congrès annuel ROADEF, Saint-Etienne, 2-4 Mars, 2011.
- CN6 T. Paviot, **V. Cheutet**, S. Lamouri, "*Choix et mise en œuvre d'un modèle d'unification standard pour l'interopérabilité conception/production*", 12ième congrès annuel ROADEF, Saint-Etienne, 2-4 Mars, 2011.

- CN7 **V. Cheutet**, *T. Paviot*, S. Lamouri, "*Conception et simulation collaborative d'une ligne d'assemblage final aéronautique : l'exemple d'un projet de fin d'études*", 11ème Colloque National AIP PRIMECA, La Plagne, 22-24 Avril, 2009.
- CN8 **V. Cheutet**, F. Campanico, J.C. Léon, L. Fine, "*Explicitation et raisonnement à partir d'informations sémantiques extraites de la maquette numérique*", 7e Conférence Internationale de Modélisation et Simulation (MOSIM'08), Paris - France, 31 mars - 2 avril, 2008.
- CN9 **V. Cheutet**, J.C. Léon, F. Giannini, B. Falcidieno, "*Vers une structuration des représentations de composants dans une vue produit : Application à la création de lignes clés esthétiques*", AIP PRIMECA, La Plagne, 2007.
- CN10 **V. Cheutet**, J.P. Pernot, J.C. Léon, B. Falcidieno, F. Giannini, "*Esquisse 3D de surfaces gauches par entités caractéristiques en conception esthétique*", AIP PRIMECA, La Plagne, 2005.

### 3.5.5 Présentation invitée

- PI1 N. Troussier, **V. Cheutet**, M. Bricogne, "*Le PLM pour la mécatronique : contexte et enjeux de recherche*", Ecole des JD MACS, juin 2011.
- PI2 **V. Cheutet**, "*Parametric free form surfaces for mechanical components*", presentation done at the Università' degli studi di Genova, April 2005.
- PI3 **V. Cheutet**, "*Contraintes fonctionnelles et esthétiques*", presentation done at the AS Contraintes (CNRS), January 2005.

## 3.6 Synthèse

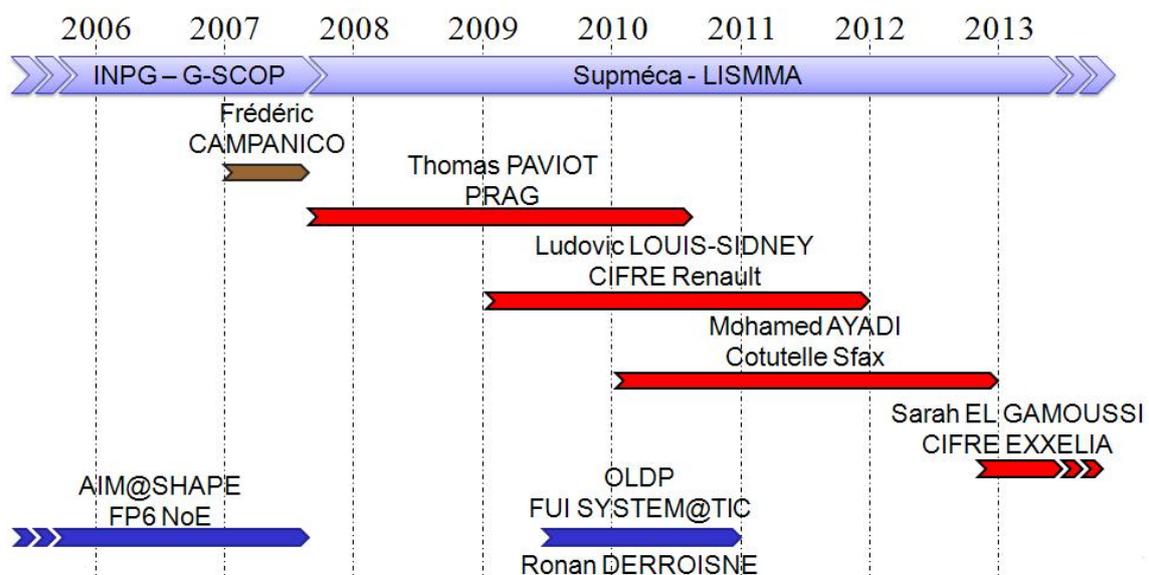


FIGURE 3.1 – Répartition temporelle des encadrements.

Journal international	Chapitres d'ouvrages	Conférences internationales	Conférences nationales	Présentation invitée
10	2	19	10	3

TABLE 3.1 – Synthèse des publications.

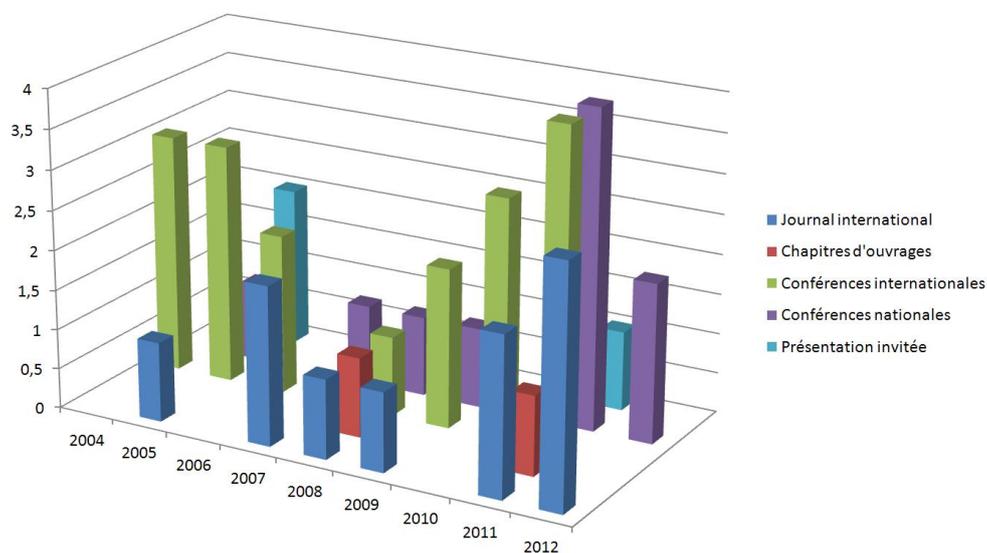


FIGURE 3.2 – Répartition temporelle des publications.

## Chapitre 4

# Participation à la vie scientifique et responsabilités administratives

### 4.1 Expertise scientifique

Je suis membre du comité scientifique des conférences suivantes :

- CONFERE'10 & CONFERE'11 (Colloque des Sciences de la Conception et de l'Innovation),
- CPI'11 (Conception & Production Intégrée),
- CIGI'11 (Congrès International de Génie Industriel),
- CMSM'12 & CMSM'13 (Congrès International Conception et Modélisation des Systèmes Mécaniques).

J'ai expertisé plusieurs articles pour les revues internationales suivantes :

- Journal of Intelligent Manufacturing,
- Journal of Engineering Design,
- Mechanics & Industry,
- International Journal of Product Development, special issue TMCE2010,
- International Journal of Product Lifecycle Management.

### 4.2 Diffusion scientifique et pédagogique

Je suis membre du comité d'organisation des conférences suivantes :

- CPI'07 (Conception & Production Intégrée),
- CPI'09 - **Président du comité**,
- MOSIM'08 (Conférence Internationale de Modélisation & Simulation),
- journées STP d'automne du GDR MACS 2010.
- MECATRONICS-REM'12.

Je suis directeur adjoint de l'**AIP PRIMECA** Ile de France, depuis septembre 2011.

### 4.3 Implication dans la vie scientifique et administrative locale

Je suis membre élu au conseil de laboratoire du LISMMA, depuis septembre 2010.

Je suis membre expert au comité de direction de SUPMECA, depuis septembre 2010.



Deuxième partie

Travaux de recherche



## Chapitre 5

# Introduction

Le marché mondial vit depuis plusieurs années d'importantes mutations, avec la mondialisation qui a permis l'émergence de nouveaux marchés mais aussi l'apparition de nouveaux concurrents, l'explosion du numérique et des TIC (Technologies de l'Information et de la Communication), le passage de la notion de produit vendu à celle de système réalisant un service, une prise de conscience des enjeux du développement durable, etc.

Dans ce contexte mouvant, les entreprises évoluent aussi. Les notions de chaîne logistique, d'entreprise étendue [Katzy et Schuh, 1998] correspondent à ces évolutions du périmètre de définition et d'action des entreprises.

Ainsi, le monde de la production a bien évolué depuis plus d'un siècle, passant du début de l'industrialisation, à la production de masse, le Lean manufacturing ([Bullinger, 1997] propose ainsi en 1997 un chemin vers le changement de paradigme du taylorisme au Lean manufacturing) et maintenant les systèmes de production agiles. Cette évolution a aussi bien touché les machines du système que l'organisation même des SP (Systèmes de Production). A l'inverse, le monde de la conception a évolué bien moins vite et vit actuellement sa révolution. Si les outils ont évolué depuis plus de 50 ans avec l'introduction du numérique via la CAO (Conception Assistée par Ordinateur), les organisations commencent seulement à évoluer, avec les notions de conception collaborative ou de LPD (Lean Product Development).

D'autre part, pour répondre au besoin croissant d'innovation et de rapidité de la mise sur le marché, les mondes de la conception et de la production ne peuvent plus s'ignorer, de même que les autres acteurs intervenant à un moment donné du cycle de vie du système conçu. Les décisions prises durant les premières phases de développement du produit ont un impact fort sur son coût final. Ainsi, 70% de l'ensemble des coûts du produit sont établis par les décisions prises dans ces premières phases [Coze *et al.*, 2009]. De ce constat est née la stratégie PLM (Product Lifecycle Management), dont l'objectif est la maîtrise de la complexité qui caractérise le développement et le suivi des produits [CIMdata, 2012], [Paviot, 2010]. De fait, le développement de produit devient lui même un système complexe, avec des acteurs humains partie prenantes ayant des savoirs, savoir-faire et des objectifs différents.

Dans ce contexte, mes travaux de recherche reposent sur une hypothèse forte : **faire face au défi de proposer dans un temps court un système innovant de qualité et à moindre coût ne peut se faire qu'avec des acteurs de l'entreprise qui soient motivés et qui collaborent ensemble**. Mes travaux de recherche visent donc à faciliter cette collaboration et le travail à valeur ajoutée, en supportant et gérant les échanges d'informations et de connaissances entre les différents acteurs.

D'autre part, la conception, que ce soit d'un produit, d'un système ou d'un planning, est avant tout un processus de résolution de problèmes, basé sur et générant des informations, et ponctué de prises de décisions [Ullman, 2001]. Dans mes travaux de recherche, je considère que seul l'humain peut prendre une décision et que celui-ci choisira toujours la solution qui lui semble être la meilleure. Mais si a posteriori, cette décision n'est pas optimale, c'est donc que l'acteur n'a pas eu accès à des données et informations fiables, intelligibles et adéquates.

Pour répondre à ces deux défis, j'ai focalisé mes travaux de recherche sur la **continuité des flux d'informations et de connaissances**, dans le lien conception-production. Cette continuité des flux répond aux verrous scientifiques suivants :

- Un échange ne peut exister que si un vecteur d'échange est disponible et en adéquation avec les acteurs souhaitant échanger. Des ambiguïtés sémantiques peuvent perturber l'interface conception/production et donc les interactions entre ces métiers (figure 5.1). En définitive, les **techniques d'interopérabilité** devront s'attacher à assurer la continuité (**interopérabilité technique**) et la conservation (**interopérabilité sémantique**) du flux sémantique qui circule entre les systèmes d'informations support aux activités des acteurs concernés par l'échange.

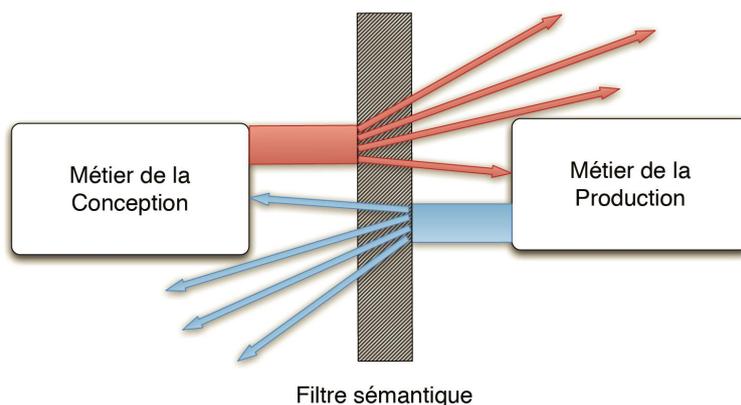


FIGURE 5.1 – Les ambiguïtés sémantiques comme filtre à une bonne collaboration conception / production (d'après [Paviot, 2010]).

- Un échange se doit d'être fiable et adéquat, i.e. dire la bonne chose au bon moment. Mes travaux se focalise alors sur la **gestion de la cohérence** des informations,
- Un échange apporte à un acteur que si ce dernier est capable de l'interpréter, i.e. que si ses représentations mentales sont en adéquation avec les informations apportées par l'échange (figure 5.2). De fait, il/elle doit donc avoir les bonnes connaissances sur son activité, connaissances pouvant à la fois provenir de sa propre expérience mais aussi et surtout de celle de l'entreprise. Le concept de **capitalisation des connaissances** est né de ce besoin et mes travaux portent principalement au sein de cette discipline scientifique sur la gestion et la diffusion des objets de connaissances en conception,

La suite du document est construite de la manière suivante. Le chapitre 6 analyse le problème d'interopérabilité des systèmes d'informations, à la fois d'un point de vue technique et d'un point de vue sémantique. Dans le chapitre 7, je propose des voies scientifiques sur la gestion de la cohérence des informations dans différents problèmes de conception. Le chapitre 8 synthétise

mes travaux sur la capitalisation des connaissances. Enfin le chapitre 9 propose mes perspectives de recherche.

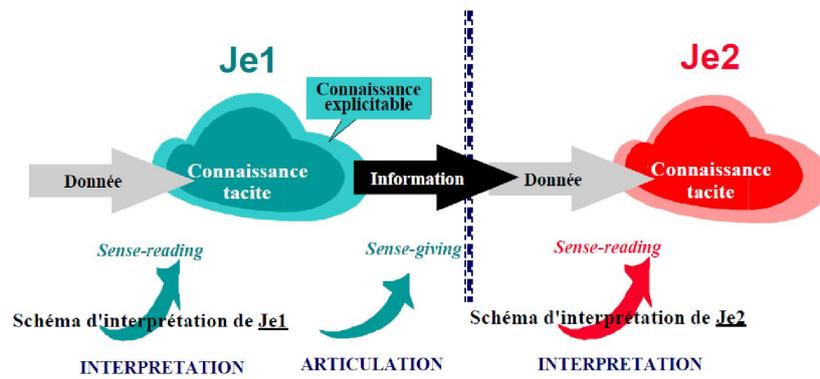


FIGURE 5.2 – Divergence du flux de connaissances (d'après [Grundstein, 2002]).



# Interopérabilité des systèmes d'information

## 6.1 Quelle interopérabilité ?

### 6.1.1 Système d'information - définition

Les différents acteurs du cycle de vie du produit manipulent un très grand nombre de données et d'informations pour accomplir leurs tâches dans le processus de développement d'un produit ou d'un système. Les systèmes d'information sont nés de ce besoin, en support des acteurs et de leurs activités.

Les travaux dans le domaine de la systémique ont permis de dégager le modèle constituant la base de la majorité des approches actuelles du système d'information. Ce modèle distingue, dans une organisation, trois sous-systèmes (figure 6.1) [Le Moigne, 1977] :

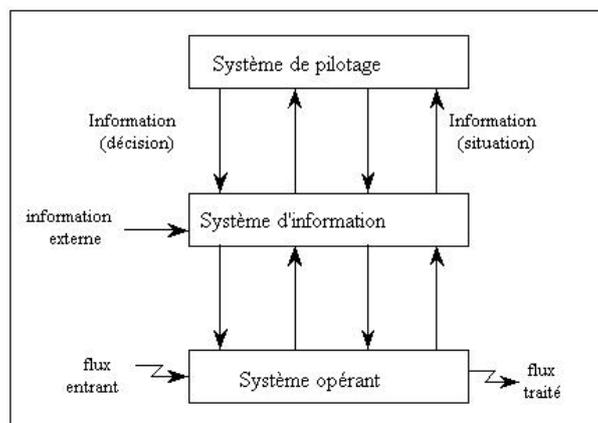


FIGURE 6.1 – Le système d'information greffé entre le système opérant et le système de pilotage (d'après [Le Moigne, 1977]).

- le **système opérant** se composant de l'ensemble des ressources relatives à l'activité de l'entreprise,
- le **système de pilotage** englobant l'ensemble des éléments responsables de la gestion et de la conduite de l'entreprise et de ses moyens,
- le **système d'information** vu comme outil de communication entre le système opérant et le système de pilotage.

Le but principal du système d'information, dans cette optique, est de fournir à chaque acteur de l'organisation toutes les informations sur sa situation actuelle ou passée. Il vise à proposer une vision cohérente des informations représentant l'état du système opérant. Un système se définit alors comme l'ensemble des entités (**structure topologique**) en interactions dynamiques (**comportements**) organisées en fonction d'un but (**finalité**) [Bucki et Pesqueux, 1994].

Un système d'information se présente donc comme un système de formalisation de représentations, mais également comme un moyen pour rendre ces formalisations opérationnelles, les rendre accessibles (et agissantes) au travers de codifications particulières qui, peut-être, pourront rétroagir sur les représentations elles-mêmes, éventuellement via les formalisations.

Sous son aspect structurel, un système comprend quatre composants [Le Moigne, 1990] :

- **les éléments constitutifs** : on peut en évaluer le nombre et la nature (même si ce n'est qu'approximativement). Ces éléments sont plus ou moins homogènes (ex. automobile : groupe motopropulseur, châssis, habitacle, liaison au sol, carrosserie). Dans une entreprise commerciale, les éléments sont hétérogènes (capitaux, bâtiments, personnel, etc.),
- **une limite** (ou frontière) qui sépare la totalité des éléments de son environnement : cette limite est toujours plus ou moins perméable et constitue une interface avec le milieu extérieur. C'est par exemple, la membrane d'une cellule, la peau du corps, la carrosserie d'une voiture. La limite d'un système peut être plus floue, ou particulièrement mouvante, comme dans le cas d'un groupe social,
- **des réseaux de relations** : les éléments sont en effet inter-reliés. Nous avons vu que, plus les interrelations sont nombreuses, plus le degré d'organisation est élevé et plus grande est la complexité. Les relations peuvent être de toutes sortes. Les deux principaux types de relations sont les transports et les communications. En fait, ces deux types peuvent se réduire à un seul, puisque communiquer c'est transporter de l'information, et transporter sert à communiquer (faire circuler) des matériaux, de l'énergie ou de l'information,
- **des stocks** (ou réservoirs) où sont entreposés les matériaux, l'énergie ou l'information constituant les ressources du système qui doivent être transmises ou réceptionnées.

Sous son aspect fonctionnel, un système comprend :

- des **flux** de matériaux, d'énergie ou d'informations, qui empruntent les réseaux de relations et transitent par les stocks. Ils fonctionnent par entrées/sorties (ou inputs/outputs) avec l'environnement,
- des **centres de décision** qui organisent les réseaux de relations, c'est-à-dire coordonnent les flux et gèrent les stocks,
- des **boucles de rétroaction** qui servent à informer, à l'entrée des flux, sur leur sortie, de façon à permettre aux centres de décision de connaître plus rapidement l'état général du système,
- des **ajustements** réalisés par les centres de décisions en fonction des boucles de rétroaction et de délais de réponse (correspondant au temps que mettent les informations "montantes" pour être traitées et au temps supplémentaire que mettent les informations "descendantes" pour se transformer en actions).

A partir de cette vision système, les entreprises ont développé des outils logiciels qui implémentent la finalité des systèmes d'information, outils qui ont été appelés par abus de langage Systèmes d'Information (SI). Ceci correspond à une vision strictement opérationnelle de la mise en œuvre de technologies de l'information et de la communication pour supporter le système

d'information d'une entreprise.

D'après [CNSS, 2006], un logiciel système d'information est un ensemble de ressources organisées pour la collecte, le stockage, le traitement, la maintenance, l'utilisation, le partage, la dissémination, la mise à disposition, l'affichage ou la transmission d'informations. Les ressources sont définies comme étant le personnel, les équipements, les budgets et les technologies de l'information (i.e. les ordinateurs et équipements connexes, les logiciels mais également le service - par exemple la maintenance - et les ressources associées).

### 6.1.2 Systèmes d'information métiers

Ces logiciels SI se déclinent sur plusieurs types, qui se différencient par des finalités plus précises répondant à des acteurs différents du processus de développement de produits. Par la suite, je me concentrerai sur la description des logiciels SI utilisés lors des phases du début de vie, i.e. les phases de **conception** et de **production**.

Au niveau des métiers de la conception, le SI métier est l'outil de Gestion de Données Techniques (ou **Product Data Management - PDM**). D'après [Eynard *et al.*, 2004], un système PDM a pour fonction de gérer les données relatives à la conception et à la fabrication des produits. Les fonctionnalités principales sont :

- un gestionnaire de la structure produit, qui organise et stocke les informations du produit ; il gère les structures produits et les multiples configurations du produit. Il propose des fonctionnalités permettant le versionnement ainsi que le lien entre documents et composants de la structure produit. Il garantit aussi la gestion de la maturité des données (disponible, gelé, obsolète),
- un moteur de gestion des processus qui, pour une structure produit donnée, permet d'envoyer la bonne donnée à la bonne personne et au bon moment,
- beaucoup d'autres fonctionnalités sont également disponibles, comme l'intégration avec un serveur de messages électroniques, qui notifie les utilisateurs d'un événement relatif à un document.

Pour [Audrain, 2008], un système PDM doit réaliser les fonctions suivantes :

- la liste exhaustive des composants du produit,
- la gestion de l'état de maturité des composants et documents associés,
- l'intégration avec les outils d'authoring,
- la structuration du produit et la gestion multi-vues.

Au niveau des métiers liés à la production et à la chaîne logistique, plusieurs systèmes d'information coexistent : ERP, MES, APS et CRM :

- Un **ERP (Enterprise Resource Planning** ou Progiciel de Gestion Intégrée - PGI) est un progiciel qui intègre les principales composantes fonctionnelles de l'entreprise : gestion de production, gestion commerciale, logistique, ressources humaines, comptabilité, contrôle de gestion. Selon [Grabot *et al.*, 2008], les système ERP constituent aujourd'hui l'arête dorsale des systèmes d'information de la plupart des grandes et moyennes entreprises,
- Un **MES (Manufacturing Execution System)** est un ensemble de composants matériels et logiciels permettant la gestion et l'optimisation des activités de production, du lancement de la commande jusqu'à l'obtention des produits finis [Barkmeyer *et al.*, 1999],
- Un **APS (Advanced Planning and Scheduling** ou système de planification et d'or-

donnancement avancé) est un progiciel qui optimise la planification et synchronise les flux de la chaîne logistique en tenant compte simultanément d'un grand nombre de contraintes (ressources, capacités, délais, coûts, profits etc.) [Stadtler et Kilger, 200],

- Un **CRM (Customer Relationship Management** ou Gestion de la Relation Client - GRC) est l'ensemble des outils et techniques destinés à capter, traiter, analyser les informations relatives aux clients et aux prospects, dans le but de les fidéliser en leur offrant le meilleur service [Ngai, 2005].

Au final, au vu de la diversité des acteurs et de leur spécificité, il existe une multitude de SI au sein d'une même entreprise. Chacun des SI a ses objectifs propres, ses données techniques spécifiques à gérer et son domaine d'action, objectifs et périmètre qui peut varier d'une entreprise à une autre. Les données techniques se retrouvent alors dispersées dans ces SI, avec des risques potentiellement élevés de redondance et/ou de désynchronisation (figure 6.2).

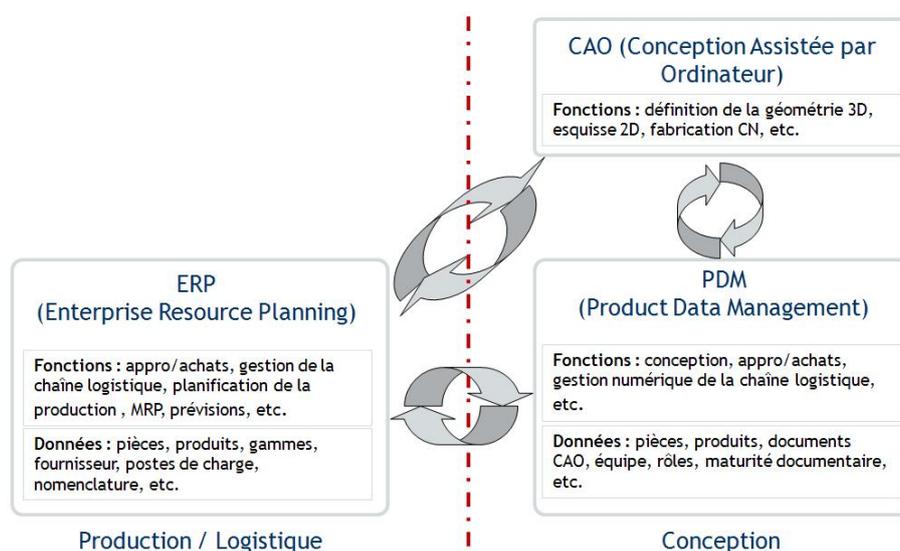


FIGURE 6.2 – Des données techniques dispersées sur des SI très hétérogènes (d'après [Paviot, 2010]).

Ainsi, comme le révèle l'étude "Integrating the PLM Ecosystem" réalisée par le groupe Aberdeen Group en Avril 2008 [Houlihan, 2008], qui se base sur un sondage effectué auprès de 260 entreprises, les "processus de fabrication" d'un produit sont stockés 15% du temps dans un PDM, 36% dans un ERP, 23% dans un MES et finalement, de manière surprenante, 26% dans un autre système ou pas du tout !

D'autre part, [Ben Khedher *et al.*, 2012] a identifié la couverture actuelle des principaux processus d'entreprise par 3 SI actuels (PDM, ERP et MES) (figure 6.3). Cette cartographie reste discutable car elle propose par exemple de limiter les ERP sur les processus des achats.

Des industriels comme EADS et Renault ont engagé depuis 3 à 5 ans des projets internes pour harmoniser leurs approches PLM et assurer une interopérabilité interne et externe entre leurs différents SI :

- le projet **PHENIX** "PLM Harmonisation Centre" chez EADS, couvrant les procédés PLM orientés sur la définition de produits (conception et fabrication en liaison avec les partenaires cotraitants) et étendu aujourd'hui aux phases amont (ingénierie système) et

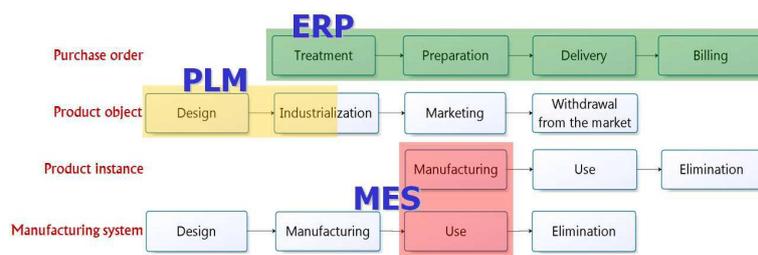


FIGURE 6.3 – Cartographie des systèmes d'information sur les principaux processus d'entreprises (d'après [Ben Khedher *et al.*, 2012]).

avales (support produit).

- le projet **NewPDM** chez Renault de refondation des processus et outils PLM, avec mise en place d'un "hub" d'interopérabilité entre les PLM de RENAULT et de NISSAN. Dans une seconde phase du projet, ces fonctions collaboratives seront améliorées et étendues à un fonctionnement multipolaire supportant des coopérations multiples.

D'autre part, le marché des services opérationnels d'interopérabilité PLM se met en place : dans le monde aéronautique, le hub Exostar a été mis en place par un ensemble de partenaires anglo-saxons, suivi récemment par le hub BoostAeroSpace, initié par le GIFAS, en cours de déploiement - pour la partie "AirSupply" - auprès de plus de 500 sous-traitants d'Airbus et Eurocopter.

La mise en place de plateformes PLM industrielles de type hub collaboratifs, comme BoostAeroSpace, s'appuie sur la mise en œuvre de standards d'échange et de partage de données, et ces plateformes permettent un premier niveau d'interopérabilité relatif à l'échange sécurisé entre partenaires.

Malgré tout, le constat actuel des industriels est que l'interopérabilité PLM est critique pour la performance des processus PLM dans un contexte d'entreprise étendu, ainsi que pour la pérennité des investissements PLM.

### 6.1.3 Interopérabilité des systèmes d'information

Si dans une stratégie PLM, la continuité des flux d'informations et de données entre les acteurs du PDP (Processus de Développement de Produit) est un point clé de la cohérence globale, l'hétérogénéité des solutions empêche d'atteindre un tel objectif. Face à ce verrou scientifique, une grande littérature existe sur l'intégration des systèmes et l'interopérabilité, et sur les définitions de ces notions, que [Panetto, 2006] traite avec exhaustivité. A cette lecture, nous voyons apparaître une grande diversité sur les définitions. Par la suite, je prendrai la définition suivante, exposée dans [Paviot, 2010] :

**Interopérabilité = capacité qu'ont deux systèmes à échanger et utiliser de l'information**

Pour atteindre un tel objectif et au vu de la notion de système vu précédemment, on peut comprendre que l'interopérabilité peut se produire de différentes manières et touche plusieurs

niveaux différents. Basée sur les travaux du projet européen FP6-INTEROP et du INTEROP-VLab<sup>1</sup>, [Panetto, 2006] propose une classification des travaux sur l'interopérabilité.

Parmi ces travaux, ceux de l'European Interoperability Framework sont devenus une référence. Dans [EIF, 2004], l'interopérabilité peut se produire à plusieurs niveaux :

- **niveau technique** (données et messages échangés) : pour pouvoir échanger des informations, il faut au préalable s'assurer que le transport des données d'un système à l'autre soit possible, c'est-à-dire qu'il existe un vecteur fonctionnel des données,
- **niveau sémantique** (information et partage de services) : un vecteur fonctionnel d'information ne suffit pas, encore faut-il que les données échangées soient comprises par les deux systèmes. Les données, chargées de sens, deviennent alors des informations qui peuvent être traitées par les systèmes en question,
- **niveau organisationnel** (interactions business unit / processus / personnes au travers de l'organisation) : une organisation adaptée doit être prévue pour assurer l'échange des informations.

L'interopérabilité des SI participant au PLM, visant à garantir le flux sémantique qui circule dans le système complexe PLM, doit donc être envisagée au regard de caractéristiques multi-échelles suivant deux dimensions [Paviot, 2010] :

- une dimension temporelle (stratégique/tactique/opérationnel),
- une dimension sémantique (sémantique globale/sémantique locale).

Par la suite, les travaux de recherche que j'ai pu mener ou encadrer nous ont amenés à se concentrer sur les niveaux technique et sémantique de l'interopérabilité.

Dans ce contexte, de nombreux travaux ont essayé de traiter une partie du problème d'interopérabilité (table 6.1). Mais [Paviot, 2010] fait le bilan suivant :

- dans le cas de problèmes d'interopérabilité inter-phase, l'accent est mis principalement sur des questions d'architecture. La question des modèles est soit éludée, soit abordée avec une granularité grossière. Ainsi, dans ces cas, la continuité du flux sémantique est assurée mais pas sa conservation,
- dans le cas de problèmes intra-phase, la granularité des modèles de données s'affine. En revanche, l'extensibilité de ces modèles n'est pas traitée pas plus que les questions de plus haut niveau concernant l'architecture du SI ne sont détaillées. Dans ce cas, la conservation du flux sémantique est donc assurée mais limitée à un cas précis, et les détails concernant l'architecture du SI ne sont pas exposés : la continuité du flux ne peut être assurée.

Granularité			
Intra-phase		Inter-phase	
CAO/PDM	[Oh <i>et al.</i> , 2001] [Song <i>et al.</i> , 2007]	ERP/PDM	[Ou-Yang et Cheng, 2003] [Galeta <i>et al.</i> , 2006] [Giménez <i>et al.</i> , 2008] [Noël et Roucoules, 2008] [Xu <i>et al.</i> , 2008] [Cheung <i>et al.</i> , 2010]
CAO/CAE/PDM	[Gallet <i>et al.</i> , 2007]		
ERP/MES	[Tursi, 2009]		
ERP/MES/CRM	[Baïna, 2006]		

TABLE 6.1 – Quelques travaux sur des problèmes d'interopérabilité dans le champ du PLM.

1. International Virtual Laboratory for Enterprise Interoperability, <http://interop-vlab.eu/>

Au vu de cette conclusion, nous avons proposé une méthodologie d'interopérabilité qui permet de prendre le sujet dans sa globalité.

## 6.2 Interopérabilité technique par une médiation multi-niveaux

Notre objectif principal pour l'interopérabilité technique est donc de concevoir un environnement hautement flexible pour l'interopérabilité entre SI afin d'échanger des informations produites entre les SI.

Dans [Paviot, 2010], nous avons étudié les différentes architectures qui peuvent atteindre un tel objectif, et nous les avons comparées suivant deux critères :

- le **coût global de possession** (CGP) des interfaces (coûts de développement, de déploiement, de maintenance),
- l'**agilité du SI constitué** : l'agilité caractérise une propriété d'adaptation du système après occurrence d'un événement externe ou interne. Celle-ci met en œuvre deux autres propriétés d'adaptation que sont la réactivité et l'adaptabilité [Iskanius, 2006], [Barzi, 2007].

Parmi toutes les topologies de type graphe connexe, deux types d'architectures (voir figure 6.4) émergent de la littérature concernant le PLM [Guyot *et al.*, 2007], la seconde étant largement préférentielle suivant nos deux critères :

- une architecture de type **point-à-point**, dont la topologie est celle d'un graphe complet, dans laquelle chaque système  $i$  est connecté au système  $j$  via une interface dédiée,
- une architecture de **médiation** (topologie en étoile), pour laquelle un  $(n + 1)^{ième}$  système est ajouté. Dans cette architecture, introduite par [Wiederhold, 1992], ce système additionnel est appelé médiateur d'information.

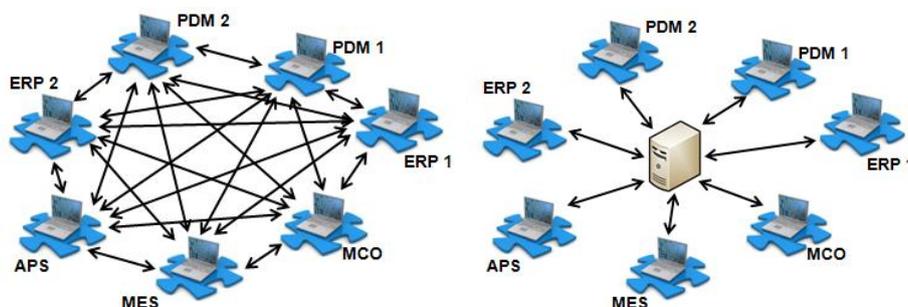


FIGURE 6.4 – Comparaison des approches point-à-point / médiateur pour l'interopérabilité technique (d'après [Paviot, 2010]).

Dans ce contexte et avec l'essor du web et des technologies adaptées telles que les webservices, [Bénaben *et al.*, 2008] propose une **architecture de médiateur d'information orienté services** qui répond aux fonctions de l'interopérabilité technique (voir figure 6.5). Dans le cas où tous les systèmes à faire interopérer sont orientés services, alors le médiateur proposé, lui-même fournisseur et demandeur de services, sera à même de réaliser l'interopérabilité entre tous ces SI.

Les travaux de thèse de Thomas Paviot [Paviot, 2010] proposent d'adapter le modèle de médiateur présenté ci dessus à l'aspect multi-échelle du système PLM et de son interopérabilité

(figure 6.6). Dans cette figure, nous avons insisté sur l'aspect multi-échelle de l'interopérabilité dans le domaine du PLM, et nous avons montré qu'il existe deux types de problèmes à résoudre : inter-phase et intra-phase. Pour répondre à ce double défi de manière globale et cohérente, nous proposons une architecture basée sur deux types de médiateurs fournisseurs et consommateurs de services web :

- des **médiateurs intra-phase** (représentés par des bulles jaunes) pour chacune des phases du cycle de vie du produit,
- un **médiateur inter-phase** (représenté par une bulle violette) pour assurer l'interopérabilité entre les SI de plusieurs phases du cycle de vie du produit.

Chacun de ces médiateurs sera situé à équidistance sémantique des applications à faire interopérer. Nous dénommons ce type d'architecture, destinée à résoudre des problèmes d'interopérabilité multi-échelle, comme de la **médiation multi-échelle**.

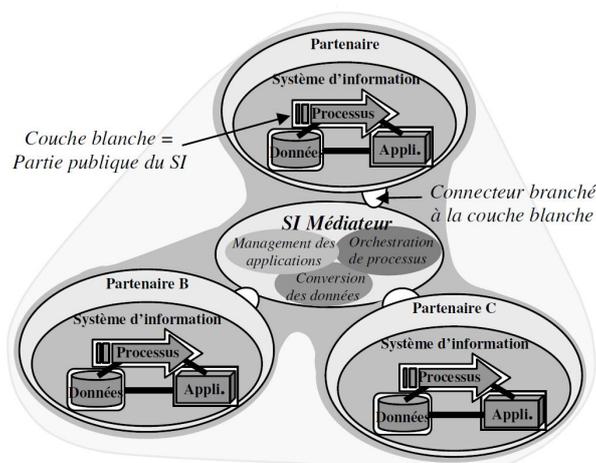


FIGURE 6.5 – L'interopérabilité des SI par médiation (d'après [Bénaben *et al.*, 2008]).

### 6.3 Interopérabilité sémantique par unification

Une fois l'interopérabilité technique, assurant ainsi la continuité du flux sémantique entre applications, le problème de la conservation de ce flux se pose, posant le problème de l'interopérabilité sémantique.

La norme [ISO-14258, 1998], relative à la modélisation des entreprises, précise que l'interopérabilité entre deux (ou plusieurs) systèmes d'information d'entreprise peut être abordée de trois manières :

- **intégration** : un standard commun de modèle de données est utilisé pour tous les composants du système. Le processus d'intégration revient à fusionner les modèles de données,
- **unification** : un méta-modèle commun à tous les composants du système fournit un moyen pour établir des correspondances sémantiques,
- **fédération** : des modèles distincts sont associés dynamiquement. Cette approche s'appuie habituellement sur des outils semi-automatiques, basés sur des méthodes heuristiques qui comparent principalement la terminologie et la structure des données afin de détecter les

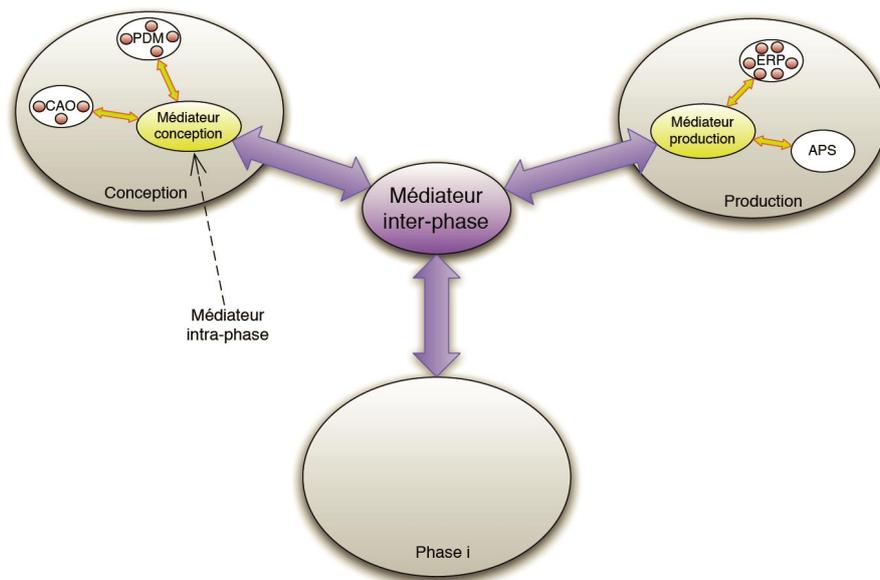


FIGURE 6.6 – Médiation multi-échelle (d'après [Paviot, 2010]).

couples de concepts qui sont reliés au niveau sémantique (similarité ou équivalence), et nommés mappings.

Si chaque méthode a ses propres inconvénients (précisément décrits dans [Hoffmann, 2008] et [Paviot, 2010]), une approche d'unification des modèles de données a été la voie choisie dans l'ensemble des travaux de recherche.

Dans ce cadre, la présentation des travaux liés à l'interopérabilité dans le PLM fait apparaître deux cas de figure : les auteurs définissent un modèle de données ad hoc ou utilisent et implémentent un modèle de données standard.

[Paviot, 2010] liste quelques caractéristiques de chacune de ces approches :

- l'utilisation de modèles standards est source d'une importante économie pour les entreprises industrielles qui les mettent en œuvre. Un rapport du NIST (National Institute of Standards and Technology) [Gallagher *et al.*, 2002] évalue les économies à plus d'un milliard de dollars par an dans le cas d'une adoption massive du standard STEP par les industries aéronautiques, automobiles et navales. Ces économies concernent la réduction conséquente des coûts d'interopérabilité des SI impliqués (coûts de migration, de maintenance, de temps),
- un modèle standard propose une sémantique riche, fruit du long travail collaboratif de nombreux experts. Cet aspect donne au standard une crédibilité industrielle en même temps qu'il dispense l'utilisateur de ce standard de la modélisation sémantique,
- par contre, le modèle standard peut contenir une sémantique figée dans le temps, qui n'est donc pas pertinente pour une mise à l'échelle,
- utiliser un modèle standard requiert un effort de la part de l'utilisateur pour s'appropriier les concepts et les méthodes d'implémentation,
- le modèle ad hoc offre une grande liberté à son instigateur. Il n'est contraint par aucune norme, dont les processus peuvent parfois être lourds à mettre en œuvre ;
- en revanche, le modèle ad hoc est par définition initialement vierge de toute sémantique. Il

conviendra donc d'alimenter ce modèle d'une sémantique cohérente qui couvre le domaine considéré.

Il faut noter que du côté des organismes de standardisation, diverses pratiques existent. Il peut s'agir en premier lieu de la labellisation, avec des processus de qualification d'outils ou d'organisation à partir d'audit ou de plan de test. Ces pratiques ne visent qu'un seul standard à la fois. Certains organismes de standardisation fournissent également des frameworks permettant de valider un ensemble de standards construits en tant que briques d'interopérabilité (ex : WS-I du W3C). Mais ces approches se réduisent à un ensemble de standards restreint, supporté par un unique organisme de standardisation. Enfin, l'ensemble des besoins de l'industrie sont souvent couverts par plusieurs organismes de standardisation, avec des standards redondants ou incompatibles. En outre, les processus opérationnels de collaboration transverses ne sont pas, eux, qualifiés dans leur intégralité, en prenant en compte tous les aspects à traiter.

Les travaux de [Rachuri *et al.*, 2008] proposent un état de l'art complet des standards existant dans le domaine du PLM, qu'on peut illustrer à travers une cartographie 2D des standards relatifs au contenu, au domaine sémantique (figure 6.7). L'axe des abscisses représente les phases du cycle de vie du produit, ces phases étant représentées suivant un point de vue temporel, du passé vers le futur. L'axe des ordonnées décrit une sémantique suivant le point de vue du Produit, des Processus ou des services de l'Entreprise (PPE).

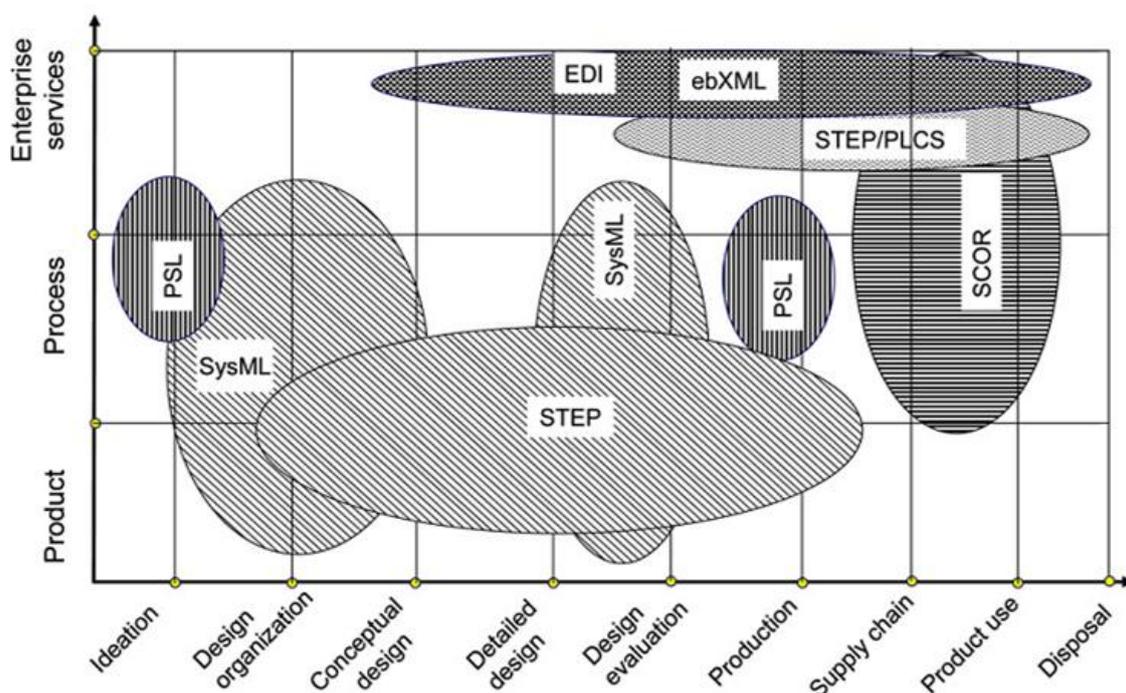


FIGURE 6.7 – Cartographie 2D des standards du PLM (d'après [Rachuri *et al.*, 2008]).

Néanmoins, nous avons démontré dans [Paviot *et al.*, 2011a] quelques lacunes sur cette carte portant sur les évolutions du standard STEP. A partir de cette constatation, nous proposons dans [Paviot, 2010] une représentation tridimensionnelle de cette norme dans le domaine du PLM (voir figure 6.8). Les trois dimensions choisies sont :

- l'axe **Produit/Process/Entreprise**,

- l'axe **Phase du cycle de vie du produit**. Ces deux axes sont les mêmes que ceux définis par [Rachuri *et al.*, 2008],
- l'axe **granularité du modèle de données**.

Sur cette figure, sont représentés :

- la base de **modules d'application** (AM) sous la forme d'un parallélépipède bleu. L'ensemble de ces AM couvre une large base dans le référentiel (Phases ; PPE) et offrent une granularité fine,
- les **AP "historiques"**, c'est-à-dire non modulaires, par des petits cylindres rouges. Ils présentent la caractéristique d'être limités et figés d'un point de vue sémantique, et offrent une granularité fine (par exemple l'AP203 ou l'AP214),
- les **AP modulaires** 239 et 233 par deux gros cylindres jaunes. Ces APs offrent un modèle de donnée moins granulaire mais sont extensibles d'un point de vue sémantique, la spécialisation du modèle de données permettant d'affiner la granularité et/ou élargir le spectre sémantique couvert par l'AP. Ceci est représenté par les flèches noires sur la figure.

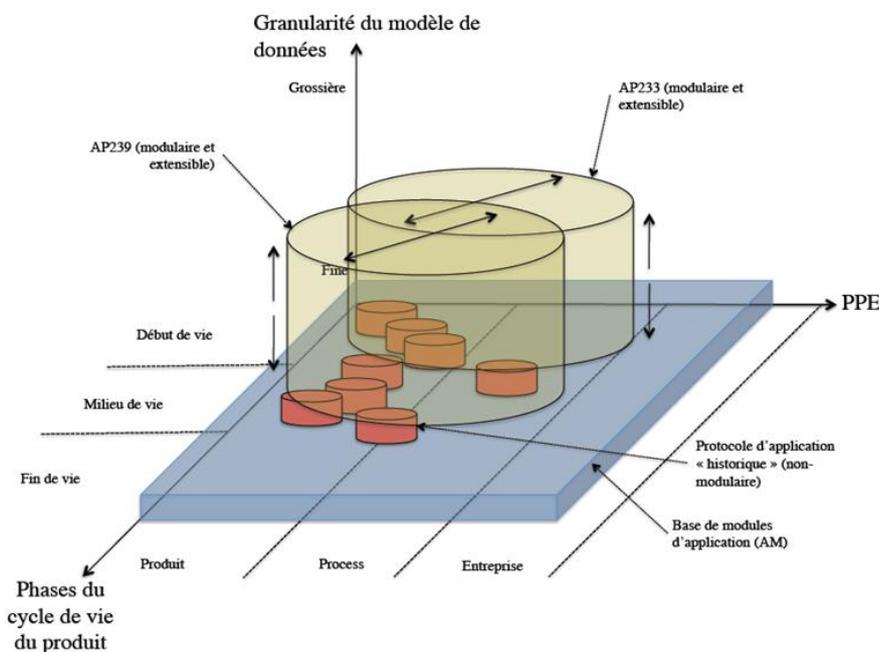


FIGURE 6.8 – Cartographie 3D du standard STEP (d'après [Paviot, 2010]).

Les points précédents ne peuvent pas être considérés comme des points forts ou des points faibles d'une manière absolue. En conséquence, c'est dans le contexte spécifique qui fait l'objet de notre étude que nous formulons les prescriptions méthodologiques suivantes :

- on choisira prioritairement un **modèle d'unification standard et extensible**, seul capable de garantir la mise à l'échelle temporelle et sémantique dans un contexte industriel. Nous rappelons qu'aussi bien [Chen et Vernadat, 2004] que [Lee et Jeong, 2006] précisent que l'interopérabilité requiert l'utilisation des standards pour être capable de partager et échanger des informations au sein de SI et d'organisations hétérogènes et distribuées,
- le cas échéant, on définira un **nouveau modèle conceptuel ad hoc**, qui permet de définir un cadre de spécifications pour le besoin en interopérabilité. Il conviendra alors de s'entourer d'une large communauté à même de spécifier la sémantique partagée qui sera

contenue dans ce modèle. Sans cette précaution, le risque est fort de créer une coquille qui restera sinon vide, du moins partiellement remplie. Ce modèle conceptuel d'unification sera par la suite adapté et enrichi de par ses relations avec les standards existant et proche du domaine, suivant une approche MDA (Model Driven Architecture).

## 6.4 Applications

Suivant ces préconisations méthodologiques, nous avons pu proposer des applications dans différents cas d'études, intra et inter phases, et basé sur des modèles standards ou ad-hoc (table 6.2).

Type unification \ Granularité	Intra-phase	Inter-phase
<b>Modèles standards</b>	CAO/PDM 6.4.1	PDM/ERP 6.4.2
<b>Modèles ad-hoc</b>	CAE/PDM 6.4.3	

TABLE 6.2 – Différents cas d'application

### 6.4.1 Médiation intra-phase par standards : exemple de l'interopérabilité CAO / PDM

Dans un contexte d'entreprise étendue, les sous-traitants doivent s'intégrer de plus en plus dans les SI de leurs donneurs d'ordres. Les besoins suivants, spécifiques aux PME, ont été identifiés par [Kadiri *et al.*, 2009] :

- une intégration CAO-PDM à bas coût, facile à utiliser, déployer et maintenir,
- une installation qui n'entraînerait pas une importante modification du système actuel, à la fois sur le serveur et le client,
- une intégration extensible, i.e. qui permet facilement une interopérabilité avec d'autres systèmes PDM et/ou CAO.

De plus, d'autres besoins spécifiques ont été exprimés par les concepteurs :

- exporter la structure produit vers le PDM pour gérer une nomenclature de conception (Engineering Bill Of Material - EBOM) et les dépendances entre fichiers CAO,
- permettre une conception collaborative asynchrone sur une partie de la maquette numérique,
- permettre les échanges de données avec des clients ou des fournisseurs,
- permettre une revue de projet basée sur une visualisation 3D du produit.

A cette fin, nous avons proposé dans [Paviot *et al.*, 2011b] un médiateur intra-phase (phase de conception) basé sur les standards (STEP et XML).

A la différence du domaine de la production où la notion de nomenclature de production (Manufacturing Bill Of Material - MBOM) est parfaitement définie et partagée depuis les travaux de [Orlicky, 1973], il n'y a pas de définition univoque ou de proposition de structuration de produit dans le processus de conception : chaque entité (personnes ou organisation) doit

s'accorder sur une méthodologie (ou un ensemble de bonnes pratiques) pour organiser le produit suivant une sémantique explicite et partagée [Tomovic *et al.*, 2009]. Dans l'approche décrite ici, nous considérons que l'intégration CAO/PDM possible existe dans une entreprise étendue spécifique et donc que le processus d'organisation du produit et sa sémantique sont partagés par tous les acteurs du périmètre ainsi défini, même s'ils n'appartiennent pas à la même organisation.

Bien que chaque éditeur de logiciel CAO implémente un modèle de données propriétaire (donc inaccessible), nous avons remarqué que tous les logiciels que nous avons étudiés proposent un ensemble de fonctionnalités de base similaires, de même qu'ils partagent la même technique pour le stockage des fichiers représentant la maquette numérique d'un produit. Ainsi, la sémantique portée par la maquette numérique (Digital Mock-Up ou DMU) est tout entière contenue dans :

- un ensemble de fichiers décrivant la géométrie volumique des composants,
- un ensemble de fichiers décrivant le positionnement (relatif ou absolu) de ces géométries,
- un ensemble de fichiers contenant des informations relatives aux différentes configurations d'une pièce ou d'un assemblage.

Par une modélisation à base de graphes, nous avons pu démontrer la proximité des structures CAO et PDM (figure 6.9), et les différentes transformations existant entre elles.

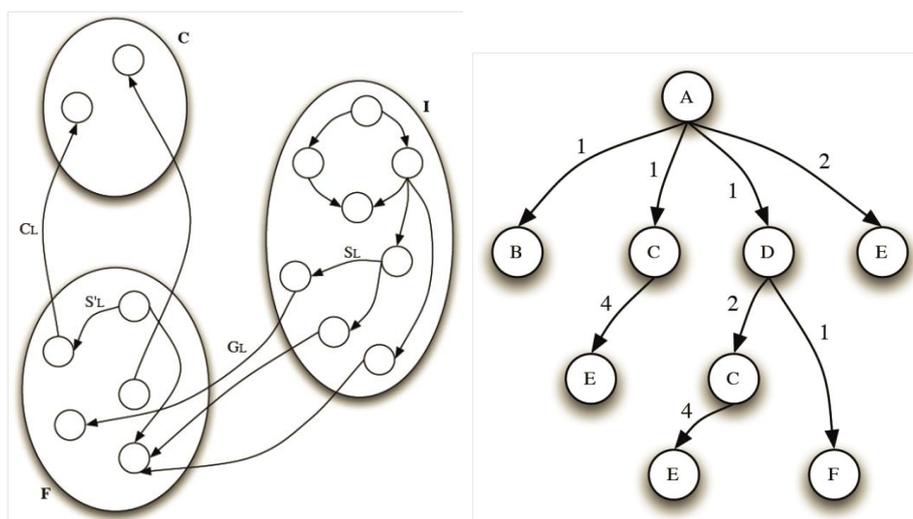


FIGURE 6.9 – a) Modèle graphe des dépendances entre fichiers CAO pour une maquette numérique, b) Modèle graphe de la structure produit PDM.

Nous proposons ci-dessous le diagramme UML (figure 6.10) du méta-modèle d'unification au cœur du médiateur CAO/PDM, extrait du standard STEP :

- **CADDocument** modélise les fichiers CAO,
- **CADDependency** modélise les dépendances entre fichiers CAO,
- **Part** et **PartMaster** permettent de définir un article versionné dans la structure PDM,
- les liens de type parent/enfant **StructureLink** permettent de construire l'EBOM dans le PDM,
- **CADDescribeLink** est un lien d'association entre un article PDM et un fichier CAO,
- le lien de **PartDescribeLink** permet de lier un objet de type **GenericDocument** qui décrit l'article (ceci sera notamment utilisé pour intégrer au PDM des fichiers de visualisation 3D au format 3DXML), **GenericDocument** étant également utilisé pour modéliser

les fichiers de configuration.

Cette approche a donné lieu à une implémentation informatique du médiateur en Python qui rend possible de transférer une maquette numérique de sa station CAO locale vers le système PDM, et d'utiliser ensuite le système PDM et le médiateur pour ventiler les différentes parties de la maquette vers les stations des concepteurs. Les tests ont été réalisés sur différents logiciels CAO (CATIA V5, Solidworks) et PDM (Windchill) du marché.

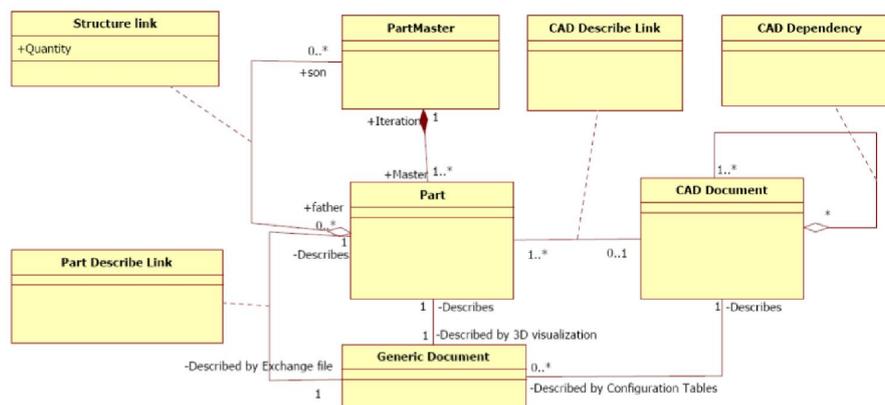


FIGURE 6.10 – Méta-modèle d'unification pour l'interopérabilité CAO/PDM (d'après [Paviot *et al.*, 2011b]).

#### 6.4.2 Médiation inter-phase par standards : exemple de l'interopérabilité PDM / ERP

Les systèmes ERP, utilisés pour la gestion des processus de fabrication (MRP), nécessitent aussi comme entrée une décomposition du produit : la MBOM. Ce type de structure, définie et partagée depuis [Orlicky, 1973], caractérise les dépendances temporelles durant le processus de fabrication du produit ou encore la succession des étapes nécessaires à la réalisation du produit physique. Les liens de structure portent une information relative à la quantité des composants nécessaires à la fabrication du produit, information capitale pour le calcul des besoins. Dans la MBOM, les articles fantômes ont pour objectif, entre autres, de faciliter la fabrication des produits ayant une forte diversité. La sémantique liée à la MBOM est sans ambiguïté : les modules MRP des systèmes ERP basent leur implémentation de la MBOM sur cette acception.

Nous remarquons un rapprochement sémantique évident entre l'EBOM définie dans le PDM et la MBOM de l'ERP. Cependant, ce rapprochement peut être trompeur et le même produit peut avoir deux structures différentes entre sa vue EBOM et celle MBOM. En effet, la création, la modification ou la maintenance des liens présents dans ces structures produit relève in fine d'une activité de regroupement :

- en production, on regroupe par niveau de nomenclature tous les articles devant être disponibles au même moment pouvoir démarrer l'opération de fabrication ;
- en conception, on regroupe l'ensemble des items participant à la réalisation d'une même fonction, ou alors l'ensemble des items appartenant à un même organe ;
- du point de vue des achats, on regroupe l'ensemble des articles achetés à un même fournisseur ;

- en maintenance, on regroupe les items devant être associés à une même opération de maintenance.

Cette liste des opérations de regroupement n'est pas exhaustive, mais illustre néanmoins le fait que les liens se distinguent des items dans le sens où ils portent une sémantique qui regroupe des items. Pour illustrer ces différences, nous proposons le produit constitué de deux tôles rectangulaires découpées *Sheet 1* et *Sheet 2*, percées puis assemblées par un boulon *Bolt* composé d'une vis *Screw 3* et d'un écrou *Nut 4*. Du point de vue de la fabrication, les éléments *Sheet 1* et *Sheet 2* sont obtenus à partir de la découpe de deux tôles brutes *Sheet 1 RM* et *Sheet 2 RM*. Pour ce produit, deux EBOM et MBOM possibles sont représentées sur la figure 6.11.

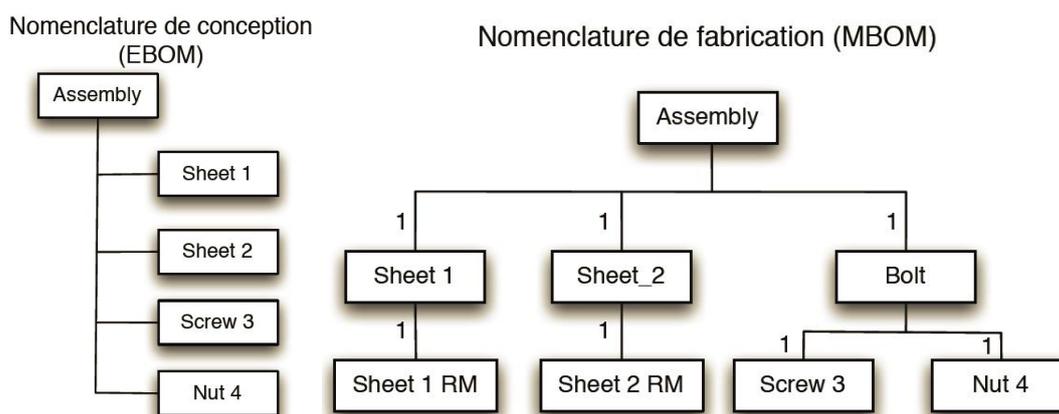


FIGURE 6.11 – Comparaison EBOM-MBOM sur un exemple simple.

Les similarités dans la représentation des articles et des liens de structure sont le point de convergence sémantique qui seront au cœur du méta-modèle d'unification. Il faudra cependant prendre garde à choisir un méta-modèle d'unification qui permette une représentation multi-vues du produit tenant compte des différences de sémantiques illustrées ci-dessus. D'après la cartographie décrite dans le chapitre 6.3, le modèle de données générique défini dans STEP AP239-PLCS [ISO-10303-239, 2005] permet de représenter le produit et sa structuration suivant les phases du cycle de vie du produit considérées.

Bien que le modèle de données générique de STEP AP239 défini dans le fichier EXPRESS peut être utilisé tel quel, un ensemble de règles ou de bonnes pratiques sont disponibles pour aider à l'implémentation. En se conformant à ces prescriptions, on s'assure d'être plus tard compatible avec une autre implémentation d'un client ou d'un fournisseur. Dans notre cas d'étude, nous avons utilisé deux templates standards (*representing\_part* et *representing\_assembly\_structure*) proposés dans PLCS pour obtenir le méta-modèle d'unification, décrit en UML dans la figure 6.12. Dans ce modèle, l'entité *Product\_view\_definition* est le composant commun entre ces deux templates.

L'architecture fonctionnelle du médiateur inter-phase a été implémentée suivant la figure 6.13. Pour les tests qui ont été réalisés, les systèmes PDM et ERP choisis sont ceux disponibles au laboratoire LISMA : Windchill PDMLink/ProjectLink comme solution PDM et OpenERP, système ERP libre. L'environnement est composé de :

- un accès de type XML/RPC (eXtended Markup Language/Remote Procedure Call) pour le transfert de données de/vers OpenERP. Le client/serveur de communication présent

dans OpenERP est basé sur ce protocole, et la partie serveur peut être facilement atteinte avec le module Python xmlrpclib pour créer des composants, des MBOMs, obtenir des informations, etc.,

- un accès de type SOAP pour le transfert de données de/vers le PDM permettant l'accès aux services web. PDMLink et ProjectLink offrent tous les deux environ 40 services web permettant l'interopérabilité avec un autre outil (création de workflow, de composants et de produits, extraction d'informations, etc.),
- le noyau de traduction est destiné à fusionner les données provenant de ces systèmes et il est responsable de la cohérence des données conception/production. Il est basé sur un modèle de données créé à partir de l'AP239,
- la manipulation des objets de l'AP239 de STEP (entités, types, fonctions, génération de fichiers STEP, etc.) est réalisée par le composant pySDAI,
- enfin, un ensemble de services web est implémenté pour donner à l'utilisateur un contrôle total sur le comportement de la solution.

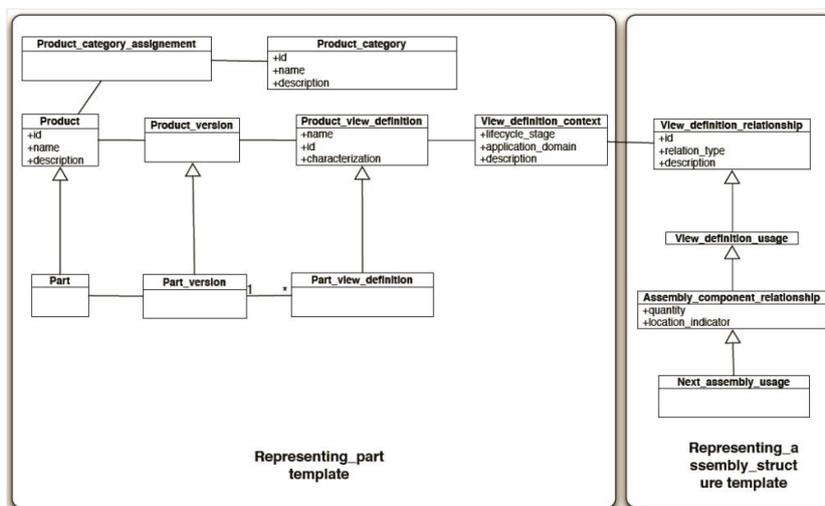


FIGURE 6.12 – Diagramme UML pour le méta-modèle d'unification (d'après [Paviot *et al.*, 2011a]).

### 6.4.3 Médiation intra-phase par modèle ad-hoc : exemple de l'interopérabilité CAE/PDM

Dans une optique du tout numérique en conception, le concept de maquette numérique (Digital Mock-Up - DMU) est né, avec la volonté de lui donner un comportement le plus proche du monde réel, afin de pouvoir prototyper numériquement ses réactions dans différentes conditions. Les simulations de produit ou CAE (Computer Aided Engineering) se sont alors multipliées ces dernières années. La diversité des besoins en simulation, qui eux-mêmes diffèrent des besoins en conception, entraîne des structurations différentes des données.

Ainsi, dans le PDM, les données sont organisées et visualisées d'une façon similaire à un arbre de construction CAO, c'est-à-dire cela correspond à la manière traditionnelle de travailler et de chercher pour un concepteur. Dans un environnement CAE, le modèle CAO est uniquement

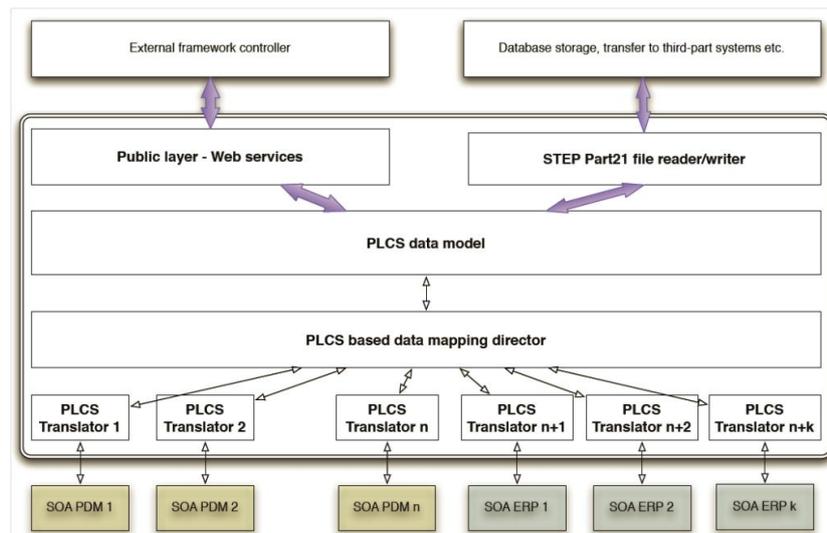


FIGURE 6.13 – Architecture fonctionnelle orientée Services (d'après [Paviot *et al.*, 2011a]).

une entité géométrique sur laquelle certaines propriétés physiques doivent être vérifiées. Dans ce contexte, la structure de l'assemblage est utile uniquement pour enlever des détails géométriques non-nécessaires pour vérifier les propriétés (étape d'adaptation de la géométrie). De plus, il existe un grand nombre de données de différentes natures (matériaux, géométrie, physique, etc.) supportées par des fichiers de différents types, utilisés dans différents contextes. Par exemple, les résultats d'une simulation peuvent être utilisés comme entrée d'une autre simulation.

En conclusion, les données impliquées dans un processus de simulation s'apparentent plus à un réseau complexe qu'à une simple structure arborescente. La figure 6.14 illustre la manière dont les données du produit et de simulation peuvent être liées entre elles.

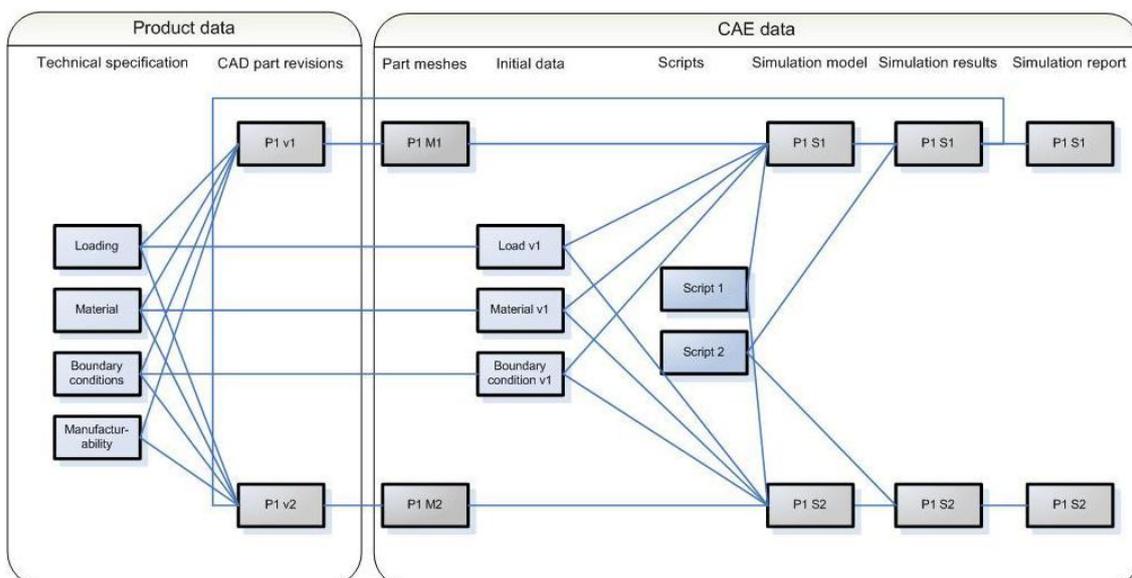


FIGURE 6.14 – Réseau des relations entre données produit et données CAE.

Il en résulte un besoin fort d'interopérabilité entre les outils supports au processus de simulation (aussi bien sur la préparation de la géométrie que sur la simulation ou le post-traitement) et avec un outil de gestion des données créées par un tel processus. Les concepts de SDM (Simulation Data Management) [Shephard *et al.*, 2004], [Kibamba *et al.*, 2009] et de SLM (Simulation Lifecycle Management) [SIMULIA, 2007] essaient de répondre à ce besoin, mais leur manque de formalisme et de solutions logicielles ne satisfont pas encore ce besoin. De même, les travaux de [Charles *et al.*, 2005] proposent un cadre de standardisation des données de simulation.

Dans ce contexte, nous avons proposé dans [Buda *et al.*, 2011] un médiateur intra-phase qui offre une solution d'interopérabilité entre les logiciels de simulation d'une part et un logiciel de gestion de données de type PDM d'autre part. Il faut noter que notre proposition ne prend pas en compte les besoins d'interopérabilité entre logiciels de simulation, problématique par ailleurs traitée par les travaux suivants : [Joshi, 2004], [Song *et al.*, 2009], [Hammadi *et al.*, 2011] ou [Lefèvre *et al.*, 2012].

En particulier, nous avons essentiellement formalisé la configuration d'un PDM nécessaire pour gérer les données de simulation. La première étape a été de définir un modèle d'unification ad-hoc approprié, qui sert de base pour notre configuration (figure 6.15). Ce modèle est une extension du modèle présenté par [Joshi, 2004] pour les simulations de structures de type Eléments Finis, que nous étendons à d'autres types de simulation (simulation multi-corps ou mécanique des fluides numérique par exemple). Ce modèle a été, d'autre part, comparé aux standards STEP AP209 pour l'enrichir.

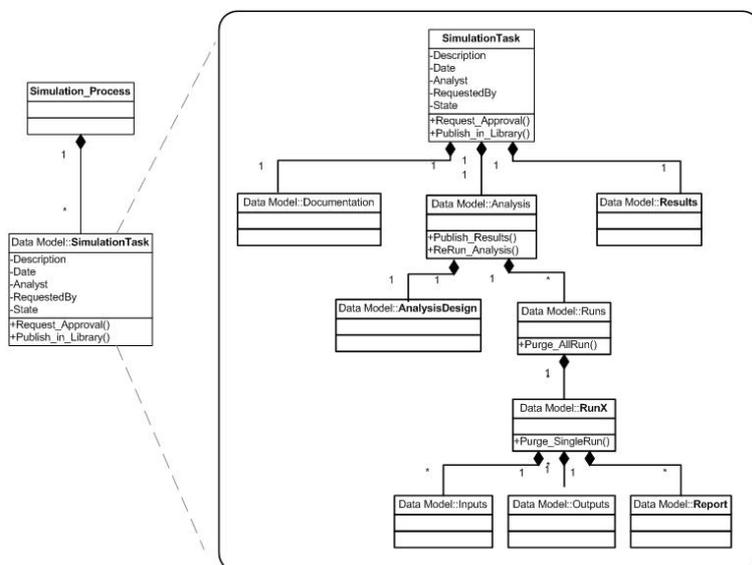


FIGURE 6.15 – Structure principale commune à toutes les *Simulation\_Task* (d'après [Buda *et al.*, 2011]).

A partir d'un scénario industriel, nous avons implémenté un prototype réalisé sur PTC Windchill, avec le développement d'une interface spécifique permettant de minimiser les interactions d'un ingénieur simulation avec le PDM.

## 6.5 Médiation inter-phase par modèle ad-hoc pour définir un SI

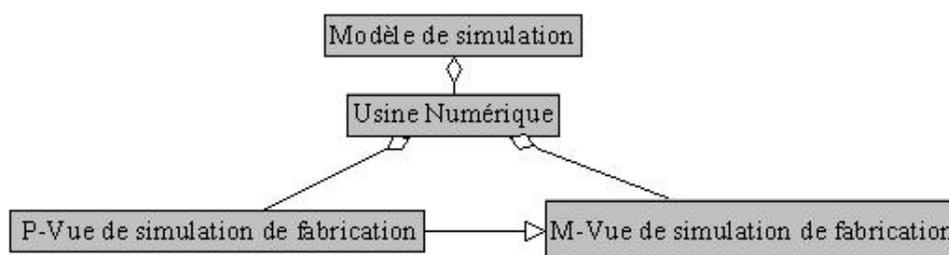
L'Usine Numérique peut se définir comme l'ensemble des outils logiciels et méthodologies permettant la conception, la simulation, l'initiation et l'optimisation des systèmes de production [Bracht et Masurat, 2005], [Kühn, 2006] et [Chryssolouris *et al.*, 2009]. Cette approche, qui provient de l'ingénierie concurrente et du *Computer Integrated Manufacturing* (CIM), vise à réduire les boucles de validation en assurant, le plus tôt possible dans le cycle de vie du produit, l'intégration de la fabricabilité et de la productibilité du produit en prenant en compte les contraintes de l'entreprise. Bien que des technologies et des systèmes existent actuellement dans ce domaine, leur application dans les entreprises manufacturières n'est pas répandue et ils ne répondent pas aux besoins des entreprises [Nagalingam et Lin, 2008]. Le frein principal est l'hétérogénéité des outils et méthodes existants, qui implique des problèmes majeurs pour assurer la cohérence et la réutilisation des données et informations générées et présentes dans le domaine de l'Usine Numérique.

Nous avons donc proposé dans [Ayadi *et al.*, 2011] un modèle conceptuel de gestion des informations créées dans l'Usine Numérique, afin d'assister une réutilisation efficace des informations et des connaissances de simulations au sein d'une entreprise. Dans ce cas, le manque de logiciels de type SI nous a orienté non pas vers une solution d'interopérabilité entre SI mais en la création d'un SI à part entière, qui réalise la médiation conceptuelle entre les métiers de la conception, de la production et de la simulation des SP.

Un système qui prend en charge les informations de simulation doit être en mesure d'intégrer les informations sur le produit et son processus de fabrication, en utilisant les données sur les ressources qui sont généralement dans des formats différents. La simulation permet alors de créer le lien entre ces informations (informations produit, processus de fabrication et ressources). L'objectif de la simulation est la validation d'une des phases du PDP et contribue à l'adoption de notion d'ingénierie concurrente tout en intégrant les contraintes de cycle de développement de produit. En fait, la simulation agit comme un élément central entre les informations produit et les informations ressources [Bley et Franke, 2004]. Par conséquent, nous introduisons le modèle d'information simulation comme nouvelle interface entre le modèle d'information produit et le modèle d'information fabrication (production) et les relations qui existent entre ces deux modèles.

Les modèles standards, comme par exemple la norme ISO 10303 sur le produit ou la norme ISO 18629 pour le processus, ou les modèles de la littérature comme [Krause *et al.*, 1993], [McKay *et al.*, 1996], [Molina et Bell, 1999], [Costa et Young, 2001], [Gunendran et Young, 2006] ou [Liu et Young, 2007] proposent des modèles pouvant répondre à notre besoin, mais uniquement de manière partielle. C'est pourquoi nous avons proposé dans [Ayadi *et al.*, 2011] un modèle *ad-hoc* représenté de manière simplifiée dans la figure 6.16.

La classe *modèle de simulation* assure la liaison entre les informations nécessaires pour la simulation des phases de développement de produit représenté par la sous-classe *P-vue de simulation de fabrication* (sous-classe de vue de modèle de produit qui étend le modèle de [Gunendran et Young, 2006]) et les informations nécessaires pour la simulation de processus de fabrication *M-vue de simulation de fabrication* (sous-classe de vue de modèle de fabrication qui étend le modèle de [Molina et Bell, 1999]).

FIGURE 6.16 – Modèle d'information de simulation (d'après [Ayadi *et al.*, 2011]).

Les deux structures d'information de ces deux classes sont identiques, mais les instances d'objets sont différentes. Le modèle de fabrication regroupe tous les procédés de fabrication pour tous les produits et le modèle de produit ne dispose que d'instances spécifiques des procédés de fabrication pour un produit particulier. La liaison entre les deux modèles est à sens unique, du modèle produit au modèle fabrication. Cela signifie que la communication entre les propriétés des produits et les capacités globales de fabrication ne peut être initialisée que par les informations produit.

Nous pouvons mettre en évidence trois principales transformations d'information lors de l'intégration des informations de simulation. Ces constats représentent les grandes lignes de notre approche :

- la navigation de l'information et de la connaissance d'un point de vue à un autre dans le même modèle (modèle produit dans notre cas) est considérée comme un **enrichissement du modèle d'informations** nécessaires pour l'accomplissement de la simulation de produit pendant les étapes de PDP,
- le lien entre le modèle de produit et le modèle de fabrication est réalisé à travers la sous-classe vue des deux modèles, précisément à travers la classe vue de simulation de fabrication appartenant au modèle de produit et au modèle de fabrication. La navigation de l'information entre les vues de deux modèles différents est une **conversion des informations** de modèle spécifique (modèle produit) vers le modèle plus général (modèle de fabrication),
- pour la réalisation du modèle de simulation, nous **fusionnons les informations** nécessaires pour la simulation, en provenance du produit et du modèle d'information de fabrication.

A partir de ce modèle conceptuel et avec une approche de type MDA, nous avons développé le SI nommé "Info SIM", capable de gérer les informations nécessaires à la réalisation de simulations en Usine Numérique et les informations résultat de ces simulations [Costa Affonso *et al.*, 2012]. Info SIM a été développé sur Windev (figure 6.17) et a été validé sur plusieurs exemples industriels [Ayadi *et al.*, 2011] et [Costa Affonso *et al.*, 2012].

## 6.6 Conclusion

En résumé de ce chapitre, les travaux de recherche, que j'ai menés ou co-encadrés, s'inscrivent dans le cadre de la recherche sur l'interopérabilité des logiciels SI métiers, utilisés dans les domaines de la conception et de la production. Ils visent à proposer dans ce cadre des préconisations

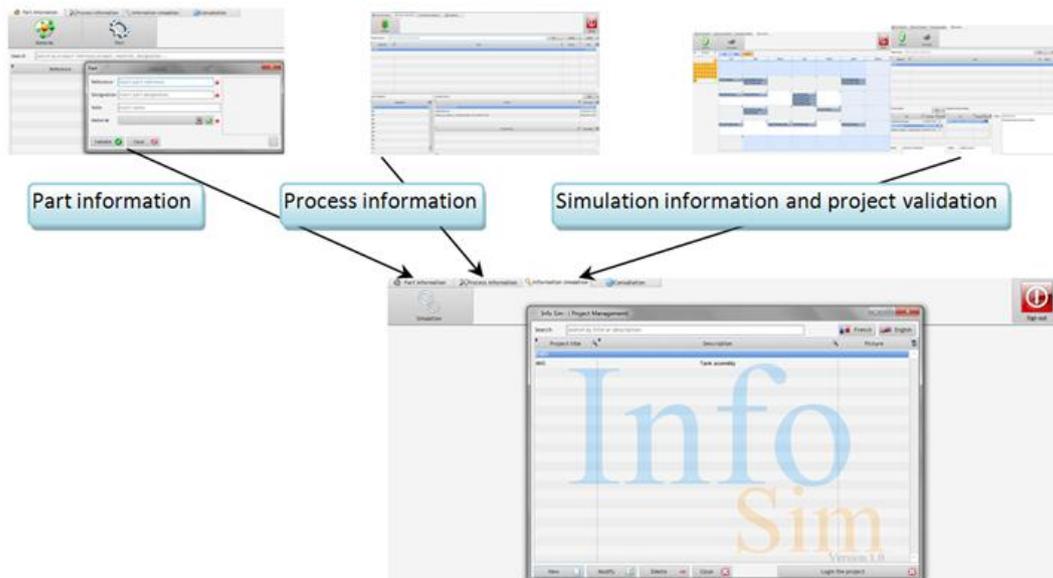


FIGURE 6.17 – Implémentation d'Info SIM (d'après [Costa Affonso *et al.*, 2012]).

méthodologiques et des modèles suivant deux axes (figure 6.18) :

- l'interopérabilité technique, où nous préconisons l'utilisation de la technologie des médiateurs multi-niveaux à base de services,
- l'interopérabilité sémantique, où nous préconisons de privilégier les modèles standards (et en particulier la norme STEP) quand le domaine est clairement identifié et couvert, et à défaut de proposer des modèles ad-hoc qui se doivent d'être cohérents avec les standards connexes (via une approche MDA).

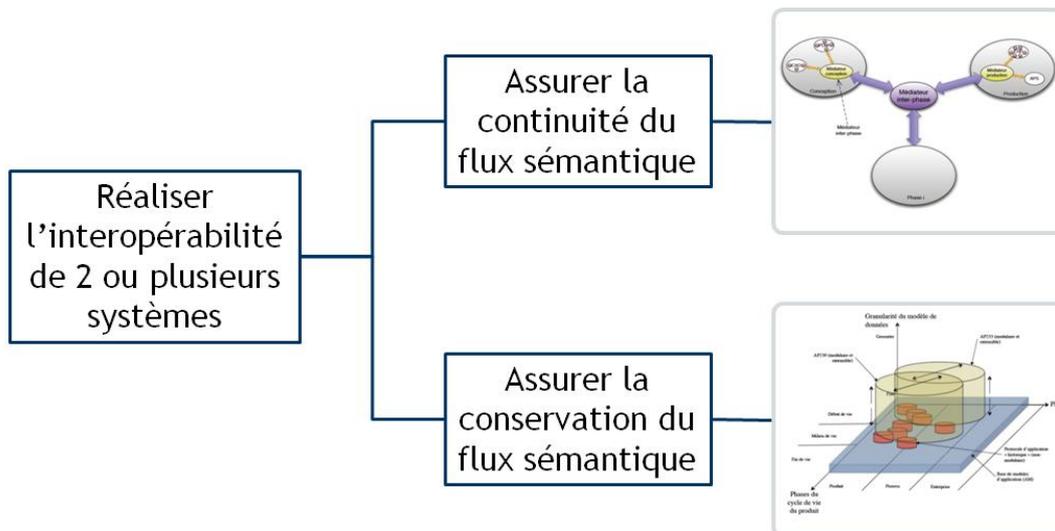


FIGURE 6.18 – Schéma d'interopérabilité.

Ces préconisations ont été validées à travers des cas d'études variés, permettant de couvrir à la fois différents domaines et des distances sémantiques distinctes.



# Gestion de la cohérence des informations

## 7.1 Les ontologies comme support de la cohérence

Le Larousse définit le terme cohérent par : "Dont les parties s'enchaînent bien et présentent entre elles des rapports logiques".

En logique, une théorie est dite cohérente si elle ne contient pas de contradictions [Tarski, 1946]. L'absence de contradictions peut être aussi bien définie au niveau sémantique qu'au niveau syntaxique. Cette définition se retrouve en programmation informatique quand on considère la cohérence de modèle : un programme sera dit cohérent s'il respecte l'ensemble des règles définissant le langage de programmation. En informatique base de données, la cohérence des données est la capacité pour une base de données à respecter les règles d'intégrité définies par son schéma.

Dans ce présent mémoire, j'utiliserai le terme cohérence pour désigner **l'état d'un modèle qui ne présente aucun conflit tant au niveau données qu'au niveau sémantique**.

Cette vision de la cohérence est souvent déclinée en conception autour de la notion de **gestion du changement** [Wright, 1997] ou de **gestion du conflit** [Klein, 1995], [Lu *et al.*, 2000], [Rose *et al.*, 2004]. En effet, si la coordination est clairement perçue comme un facteur important en conception, le besoin réel de cette coordination n'est pas pour communiquer mais pour résoudre les dépendances entre les données produit [Wang et Jin, 1999]. Les dépendances entre spécifications sur un produit sont de 4 types selon [Ouertani et Gzara, 2008] :

- **relation de dépendance à la création** : deux spécifications sont dites être dépendantes à la création si la création de l'une dépend de la création de l'autre,
- **relation de dépendance à la modification** : deux spécifications sont dites être dépendantes à la modification si la modification de l'une implique la modification de la seconde,
- **relation de redondance** : deux spécifications sont dites être redondantes quand les deux décrivent la même entité avec une expression différente,
- **relation de cohérence** : deux spécifications sont dites être liées par cohérence si elles obéissent à une relation [Nuseibeh *et al.*, 2001], [Raghothama et Shapiro, 2000].

Les outils de représentation de telles relations, tels que la DSM (Design Structure Matrix, [Steward, 1981]), les réseaux de propagation ou les arbres de propagation, ont été analysés par [Eckert *et al.*, 2006], qui concluent qu'aucune de ces techniques n'est supérieure à une autre.

De fait, la gestion de la cohérence est directement liée à une vision dynamique sur le produit et aux changements qui interviennent lors du PDP. Les modèles et méthodes proposées dans ce cadre retranscrivent cette philosophie, mais généralement découplent la représentation (modèle

de données) de la propagation. Par exemple, [Rebai *et al.*, 2011] propose d'interfacer le modèle de données provenant d'un SI PLM avec un moteur CSP (Constraint Satisfaction Problem), pour propager les changements au sein de la base de données. Pour éliminer ce découplage, j'ai axé mes travaux de recherche sur l'utilisation des ontologies sur ces problèmes, en couplant le réseau sémantique créé avec les capacités de raisonnement associées.

Les ontologies sont un artefact conçu pour exprimer une compréhension commune d'un ensemble de concepts : ainsi, selon [Gruber, 1993], "An ontology is a specification of a conceptualization". Née de l'intelligence artificielle, l'ontologie est actuellement utilisée dans le web sémantique pour modéliser les objets de connaissances sur un certain domaine d'intérêt, en lui associant le plus souvent une structure de réseau sémantique associé à un moteur d'inférences. Actuellement, il est possible de trouver des cas d'utilisation en conception où les ontologies sont utilisées quand les bases de données sont limitées pour modéliser les informations et leurs liens, surtout dans la vision "PLM 2.0". Elles permettent de récupérer des informations, d'assister la collaboration en ligne en proposant une compréhension commune, base de la communication et d'échange de connaissances entre différents acteurs du PDP [Giménez *et al.*, 2008], [Matsokis et Kiritsis, 2011].

Après une forte augmentation des travaux dans ce domaine ces dernières années, la figure 7.1 [Fortineau *et al.*, 2011] propose une classification de l'utilisation des ontologies dans une vision PLM. Cette classification positionne 30 travaux scientifiques suivant trois dimensions, prouvant la diversité des travaux dans ce domaine :

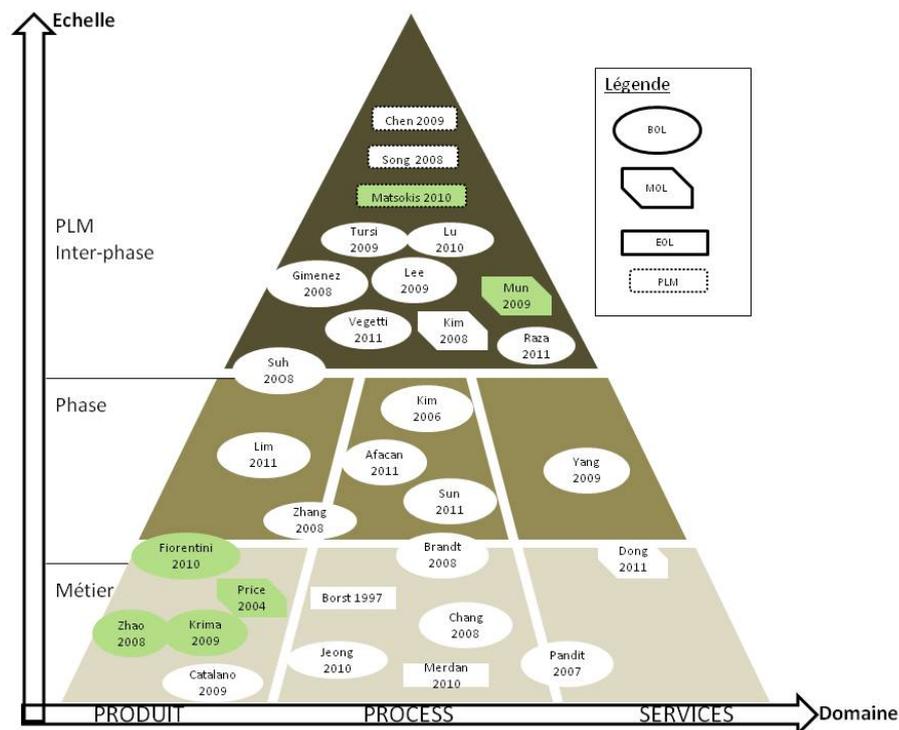


FIGURE 7.1 – Classification de l'utilisation des ontologies (d'après [Fortineau *et al.*, 2011])

- l'axe vertical correspond à la **granularité du modèle** : certains modèles proposés sont spécifiques à un métier donné d'une phase du cycle de vie (en bas), tandis que d'autres se

situent à l'échelle de la phase, traitant alors de l'ensemble du processus (de conception ou de fabrication par exemple). Enfin, certains travaux (au sommet) proposent des modèles inter-phase ou pour l'ensemble du PLM,

- l'axe horizontal correspond à la classification **Produit-Process-Services**, déjà considérée pour les cartographies 6.7 et 6.8,
- la troisième direction, visible par l'utilisation de cadres différents, représente **l'étape du cycle de vie** (début - BOL, milieu -MOL et fin - EOL) visée par l'ontologie.

Une liste de cas d'utilisation des ontologies est proposé dans [Liu et Lim, 2010], allant des systèmes de management de la connaissance à l'interopérabilité des systèmes d'information. Mes applications couvrent, quant à elles, d'une part la problématique de l'ajout d'informations cohérentes sur une maquette numérique [Cheutet *et al.*, 2008] et d'autre part celle de la cohérence lors d'échanges d'informations entre acteurs du PDP [Catalano *et al.*, 2009], [Cheutet *et al.*, 2011].

## 7.2 Raisonnement pour enrichir les informations d'une maquette numérique

Dans le cadre d'une conception d'un système, les simulations d'**Assemblage/ Désassemblage** (A/D) du produit prennent toute leur importance pour intégrer les contraintes spécifiques à ces opérations. Cependant, pour réaliser des simulations d'A/D efficaces en termes de coût et de qualité, ces simulations ne doivent pas se baser uniquement sur une représentation purement géométrique de l'assemblage. En effet, les travaux de [Léon *et al.*, 2001] ont pu démontrer que l'ajout d'informations sémantiques et technologiques en amont de la simulation permet de mieux guider la sélection des différentes procédures d'A/D, par rapport à une approche purement géométrique, et ainsi d'obtenir des résultats et des gammes d'assemblage plus significatives. Ces informations technologiques ont également pour effet de réduire la combinatoire propre au séquençage des opérations d'A/D. Les approches dites par entité ou "feature" [Shah et Mantyla, 1995] ont proposé des résultats intéressants ces dernières années, sans malgré tout atteindre un objectif totalement opérationnel.

L'approche proposée dans [Cheutet *et al.*, 2008] a évalué, dans ce contexte, l'emploi d'ontologies pour structurer et transformer les informations attachées à la maquette numérique (figure 7.2). Les différentes étapes du flux d'informations sémantiques dans ce contexte sont :

1. **explicitation** des informations déjà présentes dans le modèle numérique de l'assemblage fourni par un environnement CAO, comme l'arbre d'assemblage, le nom des composants, les informations technologiques déjà présentes, etc.,
2. **extraction** des informations des interfaces entre composants par un algorithme géométrique spécifique,
3. **exportation** des informations au sujet des interfaces dans l'ontologie, pour une étape d'explicitation et de structuration des informations,
4. **traitement** des requêtes, établies par l'utilisateur ou bien prédéfinies, qui permettent de rechercher certaines informations ou bien d'en générer de nouvelles qui seront elles-mêmes ajoutées à l'ontologie développée.

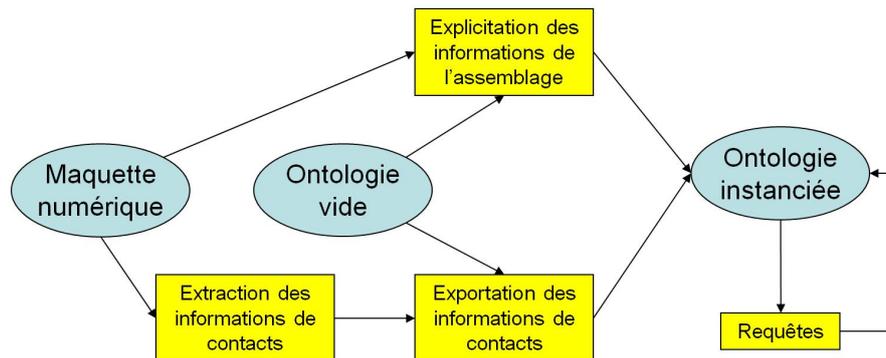


FIGURE 7.2 – Processus d’instanciation du modèle sémantique.

Ces travaux ont montré un premier niveau de faisabilité pour l’utilisation de technologies de type ontologie pour mettre en œuvre des outils de recherche, de tri, de structuration et de gestion de la cohérence des informations décrivant un assemblage avec, en particulier, l’utilisation d’ontologies et d’un moteur d’inférences. Ces travaux ont été utilisés pour intégrer des règles métiers dans l’insertion d’informations sémantiques permettant de compléter les simulations d’A/D et à terme de créer un modelleur d’assemblage.

### 7.3 Raisonnement lors d’échanges d’informations

Dans le cas d’une maquette numérique, une représentation numérique spécifique est requise pour chaque application. De plus, des informations spécifiques sur la forme sont nécessaires pour chaque acteur du PDP [Gero et Rosenman, 1996], et de fait, il est nécessaire de proposer des processus spécifiques aux interfaces entre deux acteurs pour transformer le produit d’une description à une autre, transformation prenant en compte à la fois la géométrie et le contexte spécifique d’utilisation [Hamri *et al.*, 2006].

#### 7.3.1 Product Design Ontology pour modéliser la dynamique d’une forme dans le processus de conception

Dans un contexte où le nombre de données de conception et de simulation augmente ainsi que leur complexité structurelle (voir la figure 6.14), le problème de cohérence entre la définition du produit, son processus de définition et les simulations développées se pose de différentes manières :

- comment assurer que la simulation est bien réalisée sur la bonne version du produit ?
- les données de la simulation amont sont-elles en adéquation avec les attentes de la simulation aval ?
- les outils de simulation sont-ils en adéquation avec les besoins exprimés en simulation ?
- etc.

Pour résoudre ce besoin, nous avons proposé dans [Catalano *et al.*, 2009] une ontologie permettant de représenter, conserver et retrouver les informations et connaissances liées à la forme d’un produit et d’améliorer la cohérence entre elles. Nous avons ainsi conçu la **Product De-**

**sign Ontology** (PDO) qui s'adresse particulièrement aux industriels et chercheurs qui ont besoin de partager des données sur la forme d'un produit et de développer de nouveaux outils logiciels associés. Si de nombreux travaux ont porté sur l'intégration de la sémantique du produit dans le PDP (par exemple [Patil *et al.*, 2005], [Li *et al.*, 2005], [Giménez *et al.*, 2008], [Fenves *et al.*, 2008], [Gupta et Gurumoorthy, 2008]), peu se sont intéressés à la sémantique de la forme d'un produit comme nous l'avons fait dans la PDO.

Dans nos travaux, nous nous sommes intéressés aux scénarios suivants :

- L'utilisateur cherche des données de conception et de simulation, nécessaires au bon déroulement de la tâche qui lui a été confiée,
- L'utilisateur requiert un ensemble d'outils inter-reliés dans un processus, possédant une fonctionnalité définie,
- L'utilisateur apprend les bonnes pratiques d'une entreprise,
- Etc.

Ce travail s'est inscrit dans le cadre d'un réseau européen AIM@SHAPE [AIM@SHAPE, 2004], dont l'objectif principal était l'intégration de la recherche sur la modélisation de formes numériques et leur utilisation avec des technologies à base de connaissances et du web sémantique. L'un des objectifs du projet était la création d'un cadre de référence pour formaliser, manipuler et partager les connaissances sur les formes. Ce cadre a débouché entre autre sur la création de deux ontologies communes (CO - Common Ontology) : la CSO (Common Shape Ontology) et la CTO (Common Tool Ontology), qui permettent une spécification générique de la représentation d'une forme numérique et des outils de manipulation. Ces COs ont été intégrées et complétées via le développement de trois ontologies portant sur des domaines spécifiques [Vasilakis *et al.*, 2005] : l'humain virtuel, l'acquisition et préparation de formes, et la conception de produit.

Dans ce contexte, nous avons proposé une formalisation à base d'ontologies du PDP (figure 7.3). Nous nous sommes concentrés sur l'aspect flux du processus, en introduisant le rôle des formes le long d'un tel flux, ainsi que les conditions liées aux tâches et portant sur la géométrie. Cette formalisation inclut aussi la représentation de la fonctionnalité des méthodes de manipulation des formes.

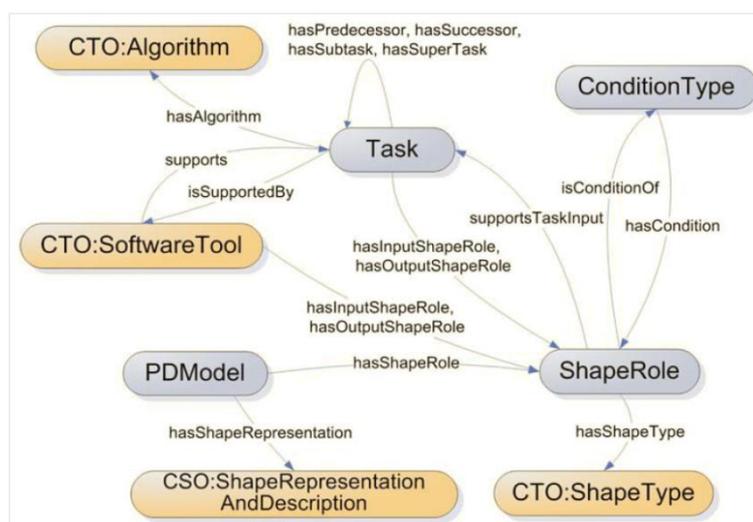


FIGURE 7.3 – Éléments principaux de la PDO (d'après [Catalano *et al.*, 2009]).

Le résultat principal de ce travail a été de concevoir une ontologie flexible et riche, capturant et partageant les connaissances associées aux processus attachés aux formes numériques, typiques des premières phases du PDP. La figure 7.4 propose ainsi un cas d'utilisation de la PDO dans le cas d'un processus de simulation d'un composant par une méthode de type Eléments Finis.

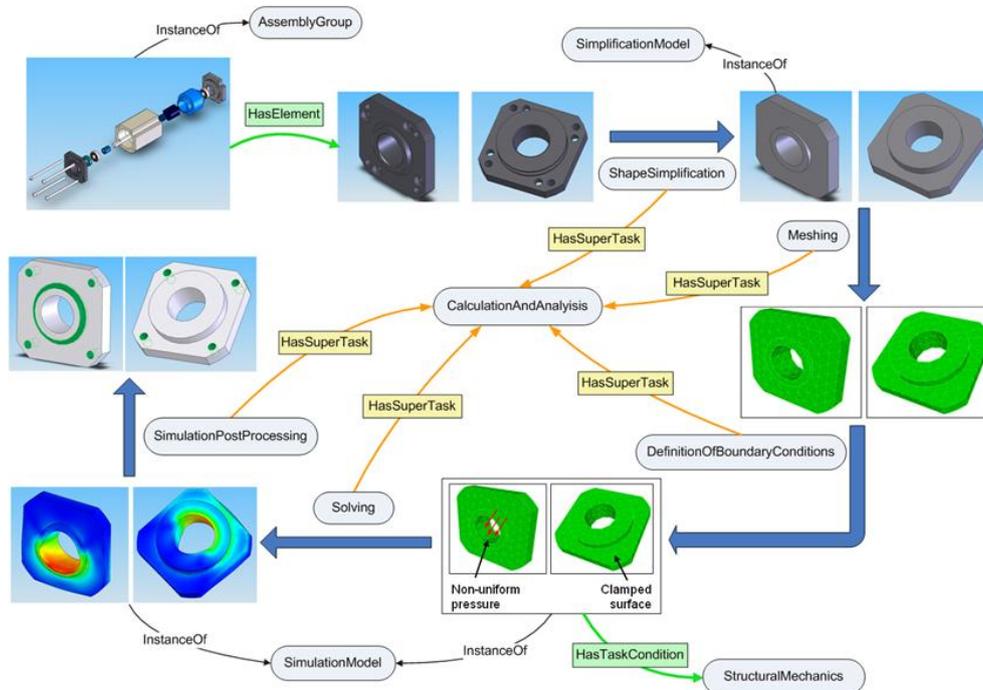


FIGURE 7.4 – Scénario d'usage de la PDO (d'après [Catalano *et al.*, 2009]).

Ces ontologies (les deux COs et les trois ontologies de domaines) ont été interfacées avec le SSE (Semantic Search Engine) [Vasilakis *et al.*, 2005] développé au sein du réseau, permettant de naviguer et de raisonner au sein de ces ontologies.

### 7.3.2 Gestion de la cohérence des informations de simulation en Usine Numérique

Dans le contexte de l'Usine Numérique (décrit dans la section 6.5), nous considérons l'interface entre les différentes simulations possibles et coexistantes. En effet, selon [Cheutet *et al.*, 2010], l'Usine Numérique se compose de simulations très différentes, de part leur **nature** (prescriptive ou réactive) ou leur **niveau de détail** (simulation de l'usine complète ou d'un poste) (figure 7.5), pouvant être nombreuses, avec des objectifs propres à chacune et portées par des acteurs différents. Enfin, dans un contexte de validation au plus tôt dans le cycle de vie du produit, certaines simulations peuvent comporter des incertitudes sur la définition du produit et des ressources associées.

De fait, la coexistence de ces simulations et la complexité structurelle existant entre elles sont sources potentielles d'incohérence lors du PDP, en particulier dans une vision dynamique de l'Usine Numérique et du cycle de vie des simulations la composant.

Ces sources peuvent être illustrées sur un cas d'étude provenant d'un partenaire industriel

du domaine aéronautique et décrit dans [Cheutet *et al.*, 2011]. Ce scénario vise à concevoir et optimiser une ligne d'assemblage produisant une section particulière de fuselage d'un avion, avec une contrainte d'augmentation de la cadence. Il a été proposé lors d'un projet de fin d'études du département SPL. Dix étudiants ont collaboré à ce projet, produisant quinze simulations différentes qui devaient coexister : simulation de flux de l'usine avec variantes concernant les moyens logistiques, simulation d'implantation de lignes et de stations.

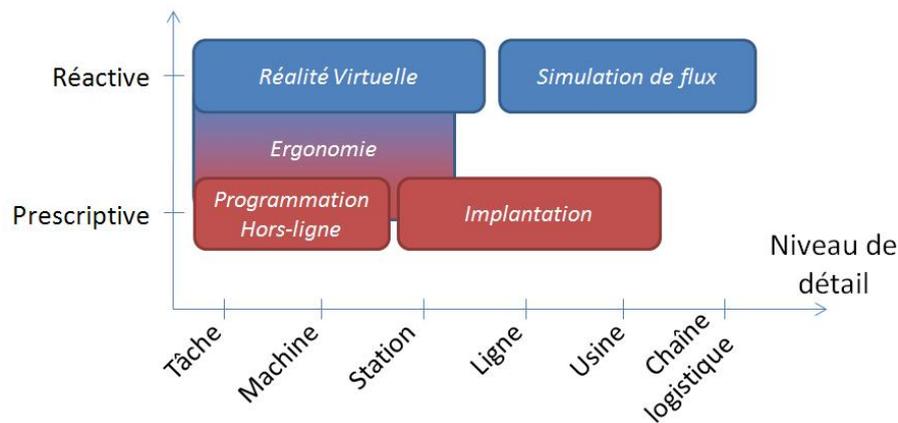


FIGURE 7.5 – Diversité des simulations présentes dans l'Usine Numérique (d'après [Cheutet *et al.*, 2010]).

A partir de cette expérience, nous avons proposé dans [Cheutet *et al.*, 2011] un environnement basé sur un modèle sémantique représentant un système de production aux différents niveaux de détails nécessaires, pour assurer la cohérence entre les données de simulation. La figure 7.6 décrit les différents modules fonctionnels nécessaires à l'architecture de l'environnement proposé :

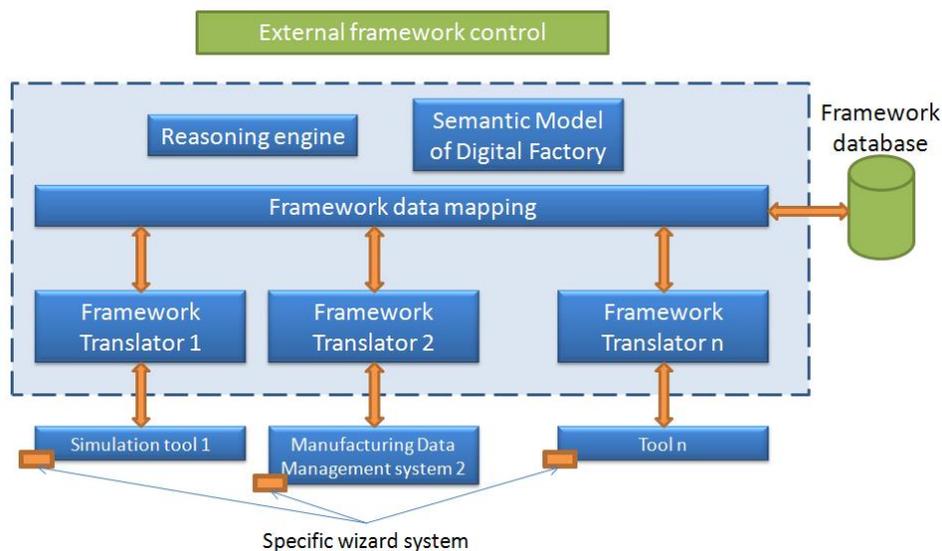


FIGURE 7.6 – Spécifications de l'architecture de l'environnement (d'après [Cheutet *et al.*, 2011]).

- un modèle sémantique complet de l'Usine Numérique. Ce modèle unifiant nourrit la conversion de données quand cela est nécessaire. Il est modélisé par une ontologie (figure 7.7) qui formalise la sémantique de l'Usine Numérique. Cette ontologie est associée à un moteur d'inférences afin d'enrichir la complexité des requêtes et des traductions possibles au sein de notre environnement,
- un ensemble de traducteurs, qui convertissent les objets demandés d'un outil de simulation ou d'un système de gestion de données vers ou à partir de notre modèle sémantique,
- un directeur de traduction, qui fusionne les traductions en une description cohérente.

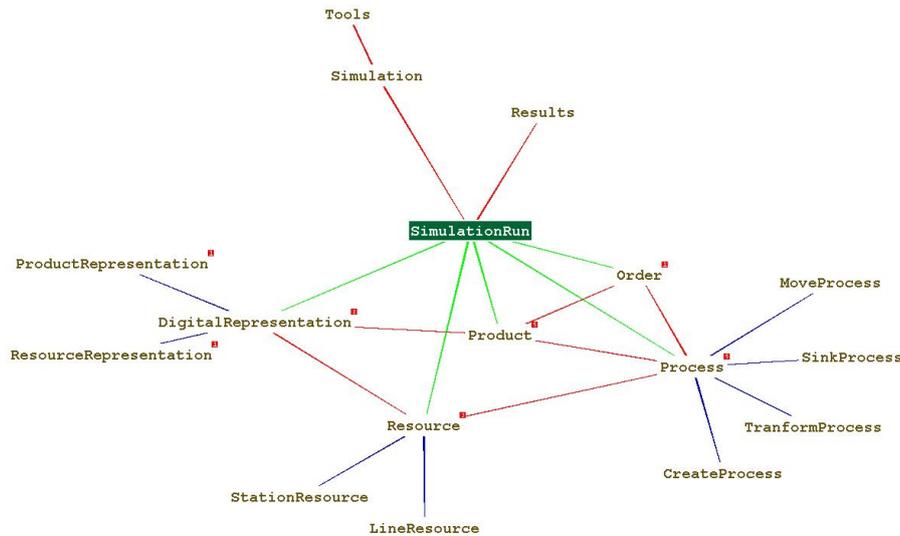


FIGURE 7.7 – Modèle sémantique simplifié de l'Usine Numérique, décrit par son ontologie (d'après [Cheutet *et al.*, 2011]).

Cet environnement est enrichi par un ensemble de systèmes dits "Wizard", dédiés à chaque logiciel attaché. Ce système aide le concepteur/acteur à réaliser les modifications et mises-à-jour requises de la simulation dont ils sont en charge. Nous proposons ce système supplémentaire car nous faisons l'hypothèse que les mises à jour ne peuvent pas toujours être faites de manière automatique. Par exemple, si les résultats d'une simulation de flux indiquent qu'un nouveau poste de travail est nécessaire pour respecter une cadence de production, il est impossible de placer automatiquement ce nouveau poste dans une simulation d'implantation sans l'expertise de l'architecte de ligne. Néanmoins, dans cet exemple, le système wizard informera l'architecte qu'un nouveau poste est nécessaire, avec toutes les informations de processus adéquats attachées.

Cet environnement a été validé avec le scénario décrit précédemment, ayant par exemple permis de tracer les impacts d'une modification sur une simulation sur les simulations liées.

## 7.4 Conclusion

Les travaux de recherche, que j'ai menés ou co-encadrés, s'inscrivent dans le cadre de la recherche sur la conservation de la cohérence des données et informations échangées à travers une interface entre acteurs du PDP. Ces travaux ont amené à proposer les ontologies comme

support de cette cohérence, en utilisant à la fois les capacités descriptives et de raisonnement de cette technologie.



# Gestion des objets de connaissances en conception

## 8.1 Diffusion des objets de connaissance

La conception se caractérise comme étant une activité humaine dirigée par les connaissances, comme le remarque la Théorie Générale de la Conception (General Design Theory - GDT) [Tomiyama et Yoshikawa, 1987], et dans le contexte de compétition actuel, la maîtrise du patrimoine des connaissances d'une organisation devient un élément critique. Selon [David, 2007], la problématique de la gestion des connaissances est passée par trois étapes qui soulignent des évolutions tant sur les enjeux que sur les défis techniques et managériaux auxquels ils correspondent :

- la problématique de la gestion de la connaissance a commencé avec un objectif fortement centré sur leur conservation,
- puis, elle s'est orientée vers l'utilisation et la réutilisation des connaissances dans d'autres contextes,
- elle arrive en 2005, dans une problématique de flux et de généralisation du partage des connaissances dans les organisations.

L'état de l'art sur les connaissances, surtout en conception, est très large et complet. Dans notre problématique, on s'attache aux connaissances qui sont explicites sous forme d'objet numérique codifié, et qui sont les ressources et objets du management et de l'ingénierie des connaissances. Ces supports entrent dans la catégorie des **objets de connaissances** [Baizet, 2004] [Cacciatori, 2008] : un objet de connaissance est vu comme un artefact qui permet à l'individu de construire sa propre connaissance. A partir de cette définition, nous proposons le concept de **QCEC** (Quantum de Connaissances Explicites Codifiées) qui se définit comme la plus petite mesure de connaissances explicites codifiées que l'on considère comme point d'intérêt et pour laquelle il est possible d'envisager une description plus complète. Il se caractérise par un nombre fini de données (ou manifestations perceptibles). Au sein de l'espace numérique considéré par nos travaux, il peut s'exprimer par un nombre fini de mots, de chiffres, d'images, ou plus techniquement de caractères, ou de bits.

[Grundstein, 2004] définit le **management des connaissances** ou knowledge management comme étant le "*management des activités et des processus destinés à amplifier l'utilisation et la création des connaissances au sein d'une organisation selon deux finalités complémentaires fortement imbriquées : une finalité patrimoniale et une finalité d'innovation durable ; finalités*

*sous-tendues par leurs dimensions économiques et stratégiques, organisationnelles, socioculturelles et technologiques*". Cette discipline aborde ainsi de façon systémique un grand nombre de problématiques à un niveau informel (niveau d'analyse jugé suffisant pour permettre la compréhension globale d'une ou plusieurs problématiques par un individu ainsi que l'utilisation des outils adaptés à leur résolution).

Au travers du modèle de la marguerite, [Ermine, 2004] propose un référentiel formalisant les processus qu'il est nécessaire de mettre en œuvre. On y retrouve notamment le processus de capitalisation et de partage des connaissances visant l'amélioration des processus de reconception. Ce processus a fait l'objet de proposition de diverses méthodes, parmi lesquelles il est possible de citer **GAMETH** (Global Analysis Methodology) [Grundstein et Rosenthalsabroux, 2004] pour l'identification de connaissances, **MASK** (Methodology for Analysing and Structuring Knowledge) [Ermine, 2001] pour leur formalisation ou encore **MEREX** (Mise En Règle de l'EXpérience) [Corbel, 1997] pour leur identification, formalisation et partage.

[Ermine, 2004] présente l'**ingénierie des connaissances** comme étant une discipline "*née avec les systèmes experts (ou systèmes à base de connaissances)*"; ces systèmes ayant pour but de "*reproduire des raisonnements d'experts sur des domaines de connaissance spécifiques*". Cette discipline aborde les connaissances d'un point de vue technologique, et se caractérise par la mise en œuvre d'une démarche scientifique cherchant à s'appuyer sur des modèles à caractères techniques (relation étroite avec une application), construits sur la base de langages formels (grammaire et sémantique stricte) de nature à amener au développement de systèmes automatisés. La méthode **CommonKADS** (Common Knowledge Acquisition and Design Support) [Caulier, 2001] ainsi que la méthode **MOKA** (Methodology and tools Oriented to Knowledge-based engineering Applications) [Oldham *et al.*, 1998] ont typiquement été développées dans le cadre de cette discipline et permettent de formaliser de façon structurée les connaissances pour les exploiter au travers d'applications à base de connaissances. Ces applications remplacent ou assistent alors le concepteur dans ses activités routinières.

De l'approche formelle de l'ingénierie des connaissances à l'approche plus informelle du management des connaissances, il existe un continuum de technologies et d'outils pour supporter le partage des connaissances (table 8.1). Les outils de type fichier bureautique ou fichier CAO sont assez répandus dans les entreprises pour formaliser les connaissances des experts métiers. Ils ont cependant un caractère volatile qui n'en facilite pas la maîtrise. Il est alors nécessaire de concevoir des outils dédiés à leur gestion que l'on retrouve sous la dénomination de **Knowledge Management Tools** (KMT). Compte-tenu de l'essor du management des connaissances depuis les années 90, les technologies adoptées sont particulièrement variées : intranet, groupware, etc. Les bases de données, permettant de stocker et partager des documents formalisant de la connaissance, semblent notamment être une technologie faisant consensus au sein des auteurs d'analyses sur ces outils [Ngai et Chan, 2005], [Joo et Lee, 2009], [Vaccaro *et al.*, 2010]. Si l'ingénierie des connaissances s'intéresse au développement de tels systèmes d'information à destination du management des connaissances, elle dispose également de ces propres outils : les applications à base de connaissances. [Zhou *et al.*, 2007] ont ainsi utilisé la méthode CommonKADS afin de développer un système à base de connaissances permettant la génération automatique de fiches d'ordre de commutations pour les réseaux électriques en Chine. La méthode MOKA a, elle, été testée sur plusieurs cas d'applications en conception de produits mécaniques dans les secteurs de l'automobile et de l'aéronautique [MOKA, 2000], [Rios *et al.*, 2005].

	Méthodes	Outils supports
Management des connaissances	GAMETH (Global Analysis METHodology)	Objets de connaissance
	MEREX (Mise En Règles de l'EXpérience)	
Ingénierie des connaissances	MASK (Methodology for Analysing and Structuring Knowledge)	Livre de connaissance
	CommonKADS (Common Knowledge Aquisition and Design Support)	Knowledge Based System
	MOKA (Methodology and tools Oriented to Knowledge-based engineering Applications)	Knowledge Based Engineering Application
	CBR (Case Based Reasoning)	CBR System

TABLE 8.1 – Bilan des méthodes et outils utilisés en capitalisation des connaissances (d'après [Louis-Sidney, 2011])

Les apports continus des disciplines scientifiques portant sur la valorisation de la ressource connaissance en entreprise ont donc conduit ces dernières à disposer d'un large panel d'outils supports des connaissances suivant les besoins fonctionnels et domaines de connaissances adressés. L'étude de situation menée à la Direction de la Conception et des Technologies GMP de Renault durant les travaux de thèse de [Louis-Sidney, 2011] apporte, selon nous, un exemple clair de l'usage complémentaire de tels moyens de capitalisation et de partage des connaissances en conception.

Il en ressort la nécessité d'avoir une vision unifiée de ces différents moyens afin de pouvoir les maîtriser et en assurer l'actualisation pérenne. Pour atteindre un tel objectif, la réutilisation de la chaîne de valeur intellectuelle doit pouvoir être perçue au niveau des processus métiers au sein d'un processus de reconception. Il s'agit alors de pouvoir formaliser par qui, où, quand, comment et pourquoi doivent être utilisés les outils supports des connaissances au sein de processus de fine granularité dont la mise en œuvre est concrètement identifiable au sein d'une entreprise. Cette formalisation devra faire l'objet d'une analyse systématique pour être actualisée et permettre l'amélioration des processus de reconception par la suite.

L'apport des travaux de thèse de [Louis-Sidney, 2011] porte sur la **définition d'un modèle conceptuel, supportant une structuration des outils numériques supports des connaissances**, tel qu'il permette :

- la réification partielle ou globale de processus / activités de reconception de référence,
- de dégager des leviers d'amélioration quantifiée sur ces processus / activités en termes de création et actualisation des outils numériques supports des connaissances.

## 8.2 Description du modèle conceptuel

Nous nous sommes appuyés sur la méthode MASK [Ermine, 2001] pour développer notre modèle. Selon cette méthode, une formalisation des connaissances aussi complète que possible passe par leur description statique sous forme d'une classification hiérarchique. Pour cela, nous utilisons une relation de généralisation (ou spécialisation selon le sens de parcours de la classification), la description dynamique de leur rôle sous forme de processus ainsi que la description de leur évolution. Nous avons repris ces principes en y ajoutant la possibilité d'utilisation de plusieurs classifications hiérarchiques couplées suivant le principe d'une classification à facettes [Ranganathan, 1950] ainsi que la possibilité d'utilisation de relation de composition au sein de ces classifications. Dans nos travaux, la notion de facettes décrit plutôt un mode de description d'un QCEC qui répond à un objectif (objectif réifié par le biais du sens d'indexation des QCECs sur ces facettes).

Nous avons extrait les contraintes suivantes pour notre modèle conceptuel de façon à permettre la localisation d'un QCEC selon une approche sémantique :

- proposer la possibilité de décrire plusieurs facettes caractérisées par des réseaux hiérarchiques,
- proposer l'utilisation d'une unique relation au sein d'un même modèle en réseau : soit la relation de généralisation, soit la relation de composition,
- proposer la spécification d'un sens d'indexation des QCECs par facette.

Le modèle conceptuel proposé vise à être appréhendé suivant un point de vue conceptuel conforme à notre considération de la pertinence d'utilisation des différents formalismes (modèle en réseaux, modèle à propriétés). Ce modèle s'appuie sur quatre cœurs (figure 8.1) permettant :

- une représentation des données (cœur **données**),
- une structuration de ces données (cœur **structuration des données**),
- une représentation des activités utilisant ces données (cœur **activités**)
- une séquentialisation de ces activités (cœur **processus**)



FIGURE 8.1 – Architecture 4 cœurs du modèle conceptuel (d'après [Louis-Sidney, 2011]).

Les cœurs données et structuration des données se positionnent sur l'axe statique, les cœurs activités et processus se positionnent sur l'axe dynamique.

Le cœur structuration encapsule les modèles en réseaux qui permettent d'aboutir à des QCECs particuliers par le biais d'une classification à facettes. Au-delà de cet aspect, son caractère navigable permet également une évaluation rapide de la position d'un QCEC vis-à-vis du domaine de connaissances de l'organisme. Les cœurs Données, Activités et Processus encapsulent chacun des types de QCECs ciblés par le modèle. Ils retranscrivent le formalisme des modèles à propriétés.

[Louis-Sidney, 2011] explique que cette structuration a été largement influencée par le do-

maine de la production et en particulier la gestion des données techniques telle que développée dans les systèmes MRP (Material Requirement Planning). L'architecture basique d'un tel système s'appuie généralement sur un minimum de quatre concepts [Vollman *et al.*, 1992] :

- le concept **article** permet de représenter un élément stockable en production,
- Le concept **poste de charges** permet de regrouper des postes de travail (individus ou machines) homogènes et documenter ses caractéristiques : identification, capacité, disponibilité, etc.,
- le concept **gamme** vise la description de la séquence des opérations de fabrication, d'assemblage, d'inspection ou de transports nécessaires à la fabrication d'un article,
- Le concept **nomenclature** représente une liste des articles nécessaires à la fabrication d'un autre article.

En particulier, l'analogie s'explique ainsi :

Production		Connaissances
Articles	$\iff$	Données
Poste de charge	$\iff$	Activité
Gamme	$\iff$	Processus
Nomenclature	$\iff$	Structuration

### 8.3 IKOES

Cette partie est dédiée à la présentation d'un cas d'application original ayant permis de répondre à deux objectifs : évaluer la capacité descriptive d'une partie de notre modèle conceptuel et proposer une solution concrète à un besoin industriel. Ce cas d'étude a permis la mise en œuvre d'un système d'information nommé **IKOES** (Inter-Knowledge Objects Exchange System) permettant l'échange de valeurs de paramètres entre objets de connaissances paramétrés (PKO - Parameterised Knowledge Object) [Louis-Sidney *et al.*, 2012a]. Un PKO se définit ici comme un fichier numérique permettant la spécification d'un ensemble prédéterminé de données (ou paramètres) dans l'objectif de produire un résultat.

Basé sur l'architecture 4 cœurs du modèle conceptuel, le démonstrateur est organisé comme suit (figure 8.2 et table 8.2).

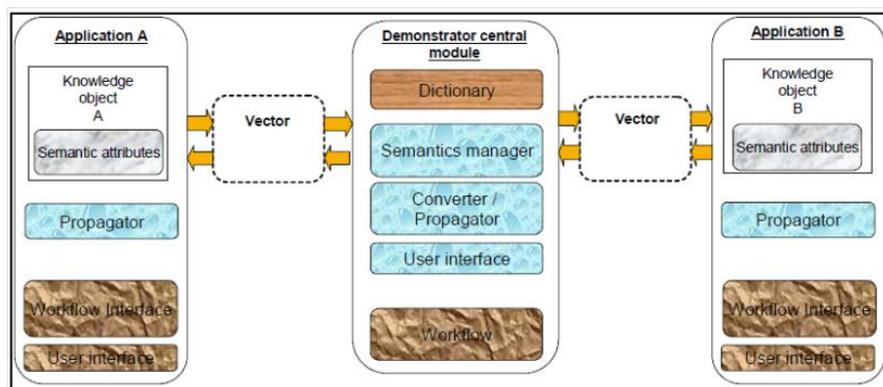


FIGURE 8.2 – Architecture du démonstrateur (d'après [Louis-Sidney *et al.*, 2012a]).

Éléments du démonstrateur	Relation avec le modèle conceptuel	Technologie d'implémentation
Dictionnaire	Structuration des données	Fichier Excel
Attribut sémantique	Données	Champ commentaire des paramètres du PKO étudié
Vecteur		Excel
Manageur de sémantique	Activité	VBA
Propagateur		VBA
Convertisseur		VBA
Interface utilisateur	Processus	VBA
Workflow		VBA

TABLE 8.2 – Description des éléments du démonstrateur.

Nous avons implémenté et testé le démonstrateur à la DCT Renault. Le scénario de validation décrit dans [Louis-Sidney *et al.*, 2012a] vise l'échange automatisé entre un modèle CAO paramétré représentant un assemblage vissé et un fichier Excel paramétré pour calculer les chaînes de cotes d'un assemblage vissé. Les retours des équipes projet ont été positifs sur l'intérêt d'un tel système.

## 8.4 PKMS

Après la validation d'IKOES, nous avons cherché à proposer le démonstrateur d'un système de management des connaissances orienté processus **PKMS** (Process Oriented Knowledge Management System) [Louis-Sidney *et al.*, 2012b] implémentant le modèle conceptuel décrit dans la section 8.2. Nous avons réalisé l'implémentation du modèle à partir du progiciel Microsoft Office Access 2003, en s'appuyant sur les règles de dérivation de modèles définies dans la méthode MERISE [Nanci et Espinasse, 1996].

Le démonstrateur suppose deux phases d'utilisation : une phase d'entrée des données et une phase d'interrogation. La première correspond à la **phase d'élicitation** des connaissances au sein de laquelle un outil support des connaissances sera décrit par la personne qui en est responsable. La seconde concerne la **phase de consultation** du modèle lors de laquelle tout membre de l'organisme peut chercher à accéder à la description précédemment réalisée.

Lors de la deuxième phase, le démonstrateur se présente suivant 4 interfaces, qui reprennent les 4 cœurs. Les cœurs **données** (figure 8.3), **activités** (figure 8.4) et **processus** (figure 8.5) visent à représenter respectivement des outils supports de connaissance de type fichier, des activités manuelles utilisant des fichiers ou supportées par des outils supports de connaissances de type application à base de connaissances et les processus métiers auxquels appartiennent ces activités. Le cœur **structuration** (figure 8.6) est divisé en deux parties : un espace pour interroger le modèle (Espace de requêtes) et un second pour afficher les réponses.

Ce démonstrateur est actuellement en cours de déploiement chez Renault.

**COEUR DONNEES**

**Informations générales**

Identifiant : [0] Version: [1]  
 Nom: Application CHDC Assemblages vissés

Représentants de classification de la donnée:

Referentiel	Contexte
Type donnée	Application CHDC
Produit	Collecteur

Ex: [1] [1] [1] 1 [1] [1] sur 4

Représentants utilisés:

Nom
[ ]

Ex: [1] [1] [1] [1] [1] [1] sur [1]

Utilisations en tant que référence:

Nom
[ ]

Ex: [1] [1] [1] [1] [1] [1] sur [1]

**Recherche sur identifiant**

[ ]  
 (Seule la dernière version est consultable)  
 Rechercher

**Etats et contexte d'utilisation**

Etat: Standard type  
 Format: Excel  
 Langue: Français  
 Url: [http://www.les-renault.fr/](#) ou url: [ ]  
 Système d'information hébergeant: BMR

Contexte d'utilisation

Utilisée en entrée des activités	Utilisée en sortie des activités	Utilisée en ressource des activités						
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nom</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Récupérer les données nominales du modèle CAO da</td> </tr> </tbody> </table>	Nom	Récupérer les données nominales du modèle CAO da	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nom</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>[ ]</td> </tr> </tbody> </table>	Nom	[ ]	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nom</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>[ ]</td> </tr> </tbody> </table>	Nom	[ ]
Nom								
Récupérer les données nominales du modèle CAO da								
Nom								
[ ]								
Nom								
[ ]								

FIGURE 8.3 – Extrait du cœur Données.

**COEUR ACTIVITES**

**Informations sur l'activité**

Identifiant: [0] Version: [1]  
 Nom de l'activité: Récupérer les données nominales du modèle  
 Acteur: Concepteur Produit  
 Classe d'activité: Asstree  
 Application: BLOES  
 Temps moyen: [2] Unité: [ ]  
 Temps maximum: [2] minute  
 Temps minimum: [2]

Représentants de classification de l'activité:

Referentiel	Contexte
Type activités	Realiser l'étude fonction

Ex: [1] [1] [1] 1 [1] [1] sur 1

Processus utilisant l'activité:

Nom
Dimensionner un assemblage vissé

Ex: [1] [1] [1] [1] [1] [1] sur 1

**Recherche sur identifiant**

[ ]  
 (Seule la dernière version est consultable)  
 Rechercher

**Données ressources**

Nom	Etat
Template Assemblage vissé	Pre-dimensionné

Ex: [1] [1] [1] [1] [1] [1] sur 1

**Données d'entrées**

Nom
Application CHDC Assemblages vissés standard type

**ACTIVITE**

les données nominales du modèle CAO dans le fichier

**Données de sortie**

Nom
Application CHDC Assemblages vissés Mise à jour avec pa

FIGURE 8.4 – Extrait du cœur Activités.

## 8.5 Conclusion

En résumé de ce chapitre, les travaux de recherche, que j'ai menés ou co-encadrés, s'inscrivent dans le cadre de la recherche sur la diffusion des objets de connaissances, en s'appuyant sur une approche mixte entre l'ingénierie des connaissances et la capitalisation des connaissances. Ces travaux ont amené à proposer un modèle conceptuel permettant de structurer les outils supports de connaissances d'un organisme. Ce modèle s'adresse principalement aux entreprises ayant une vision processus de leur fonctionnement.

Un démonstrateur de type SI implémentant le modèle a été développé et apporte une vision concrète des possibilités offertes par ce dernier.

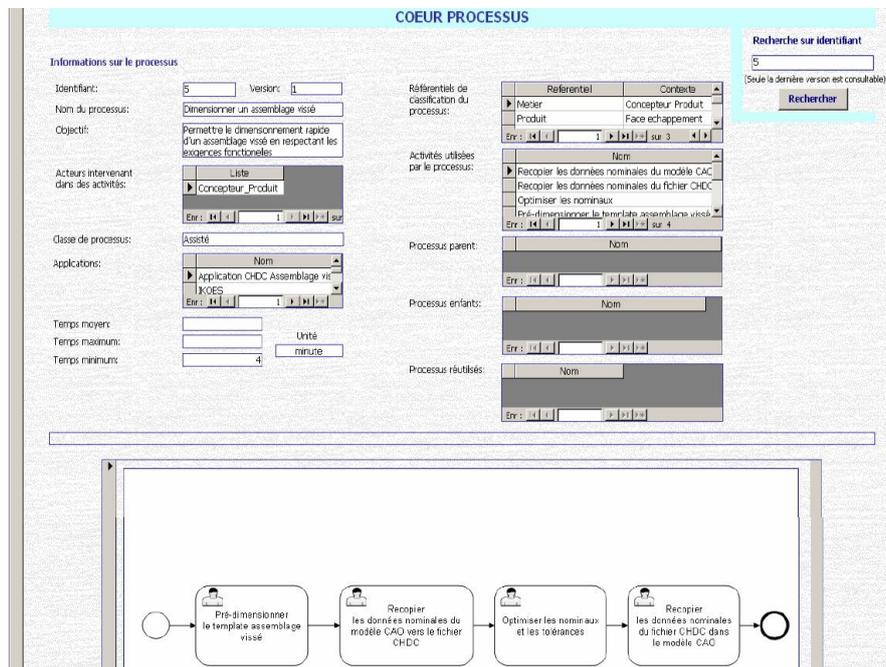


FIGURE 8.5 – Extrait du cœur Processus.

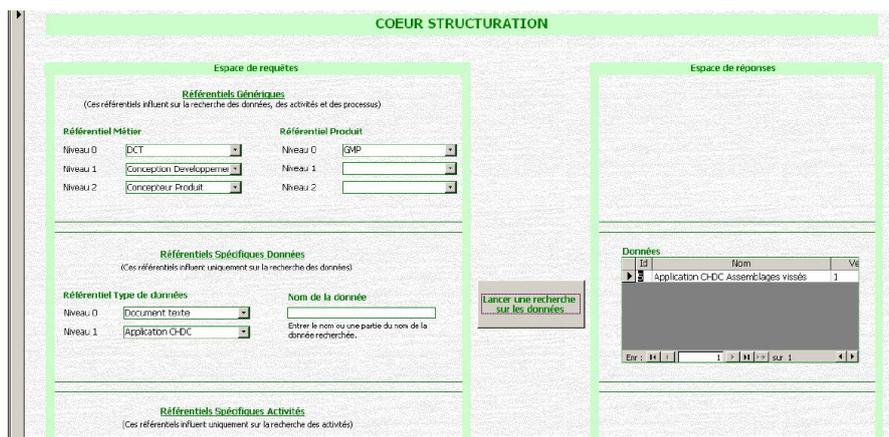


FIGURE 8.6 – Extrait du cœur Structuration.

# Perspectives et projet de recherche

De plus en plus d'informations et de connaissances disponibles, provenant de toutes les phases du cycle de vie du produit, doivent être prises en compte pour obtenir un optimum global du système à développer. Ce phénomène va s'amplifier car nous sommes actuellement en pleine 4<sup>ème</sup> révolution industrielle : après celle de la vapeur, de l'électricité et de l'ordinateur, nous voici dans la révolution de l'information numérique. Mais les acteurs du PDP vont faire face à trop d'informations, trop hétérogènes, pas toujours connues ou référencées. La stratégie PLM devrait répondre à cette problématique.

Si mes contributions scientifiques ont principalement portées sur deux dimensions, à savoir la collaboration et la prise de décision (figure 9.1), un nouvel axe est introduit pour décliner les perspectives de recherche : l'évolution du contexte (figure 9.2).

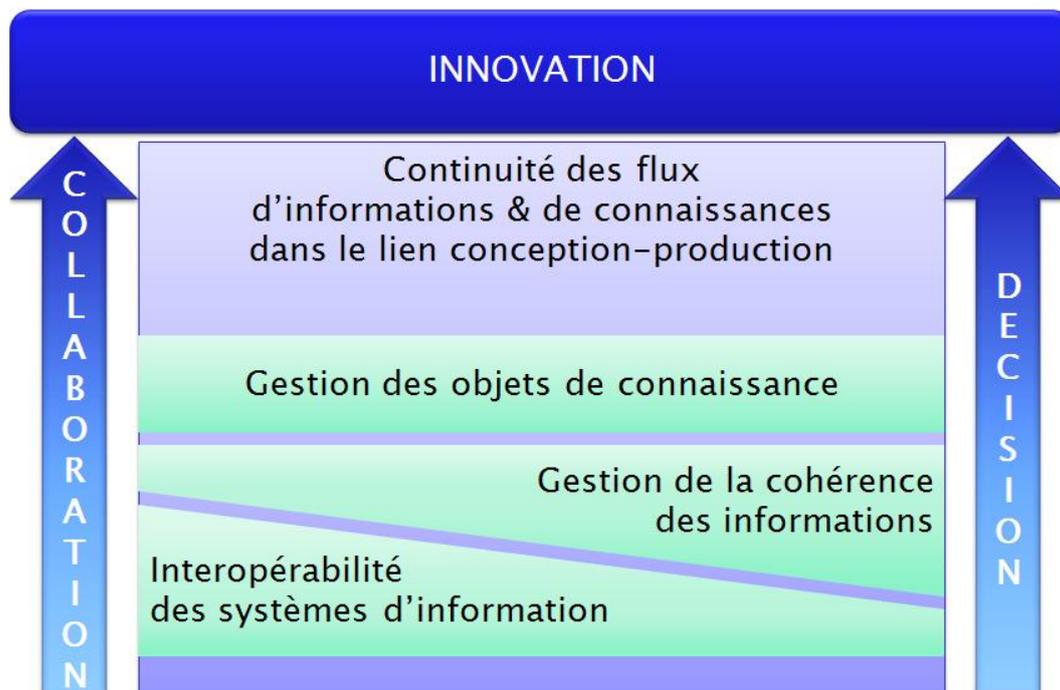


FIGURE 9.1 – Organisation des contributions scientifiques.

Mon projet de recherche se décline donc suivant trois axes principaux, visant à prendre en compte un contexte de plus en plus évolutif :

- l’approche Lean appliquée au PDP (chapitre 9.1), qui devrait permettre une orchestration des améliorations à apporter au sein d’un contexte bien défini,
- la traçabilité (montante et/ou descendante) des informations et des connaissances en conception (chapitre 9.2), permettant une meilleure compréhension des décisions prises au cours du projet de conception et surtout dans un contexte d’entreprise étendue définie,
- l’agilité des SI (chapitre 9.3), devant permettre de capitaliser plus aisément les bonnes pratiques et l’agilité des organisations portant ces SI, dans un contexte de création et d’évolution de l’entreprise étendue.

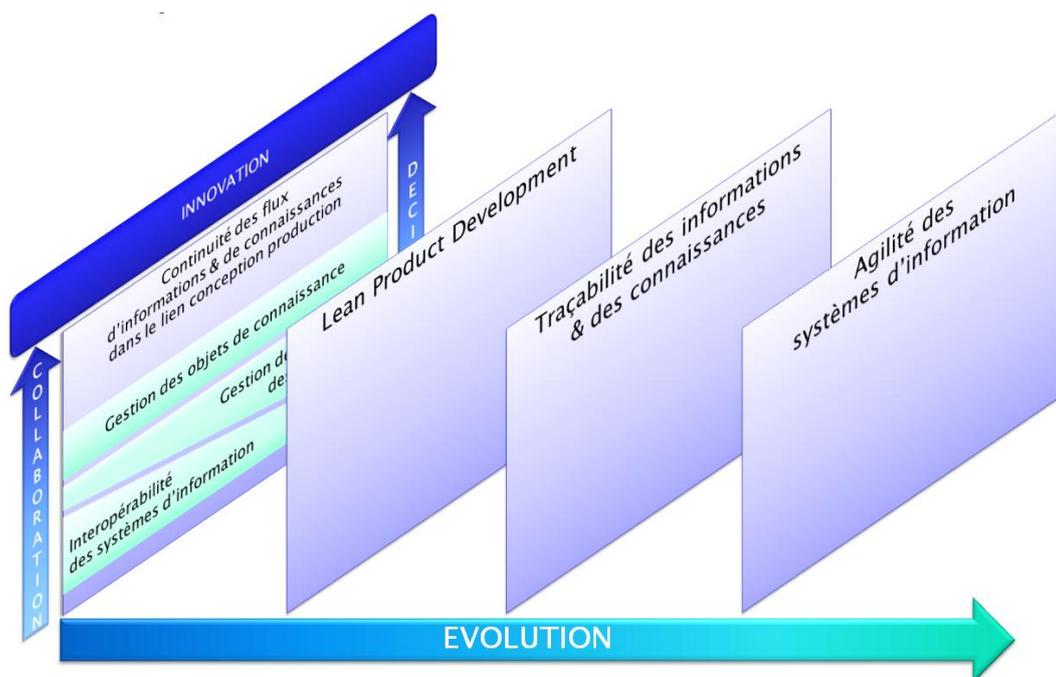


FIGURE 9.2 – Projection des perspectives.

## 9.1 Le Lean Product Development

Le paradigme Lean a démontré son intérêt pour améliorer les performances des systèmes de production. Mais des activités basées sur la connaissance comme la conception, l’introduction de nouveaux produits, le développement des produits sont des domaines pour lesquels l’application de l’approche Lean peut apporter des bénéfices considérables. Néanmoins, les principes du Lean, d’abord définis pour le domaine de la production, ne peuvent pas être tout simplement transposés au PDP, sans une adaptation aux spécificités de cette activité.

Si de nombreuses publications sont parues sur le Lean Manufacturing [Womack *et al.*, 1990], [Howell et Ballard, 1994], [Holweg, 2007], [Abdulmalek et Rajgopal, 2007], [Mo, 2009], l’état de l’art est plus restreint sur le thème du Lean appliqué au PDP : le **Lean Product Development (LPD)**. Le premier article sur ce thème, publié par [Karlsson et Ahlström, 1996], a identifié les difficultés et les éléments favorables à la mise en œuvre du LPD. Depuis cette recherche, les auteurs de [Baines *et al.*, 2006] ont identifié 24 articles pertinents sur le sujet du LPD de 1999 à 2005.

Ce manque de travaux dans ce domaine contraste avec la constatation de [Schonberger, 1982] qui chiffre à 85% le pourcentage de défauts apparaissant lors de la fabrication et qui seraient liés à la conception du produit. De plus, en terme de coûts, le nombre de leviers d'actions disponibles en production est moindre que celui disponible en conception. Ainsi, "*penser l'entreprise au plus juste*" [Womack et Jones, 2009] passe forcément par le développement de l'approche Lean dans l'activité de Développement de Produits.

Les travaux existants dans ce domaine montrent que la prise en compte de la démarche LPD s'appuie sur deux approches différentes, repris dans [Costa Affonso et Cheutet, 2011] :

- les **pratiques de gestion de projet** : [Karlsson et Ahlström, 1996], [Mikulina, 1998] et [Baines *et al.*, 2006] associent principalement à la démarche LPD les pratiques suivantes :
  - l'implication du fournisseur dès la phase de conception,
  - l'ingénierie parallèle ou concourante,
  - des équipes inter-fonctionnelles et intégrées,
  - la désignation d'un chef de projet
- l'**adaptation des cinq principes du Lean Manufacturing** : Les auteurs des articles [Womack et Jones, 1996], [Donovan *et al.*, 1998], [Cloke, 2000], [Morgan, 2002], [Haque et Moore, 2004], [Schuh *et al.*, 2005] et [Hall *et al.*, 2009] ont analysé les principes sous un regard "développement de produit" :
  - définir la valeur,
  - identifier la chaîne de valeur correspondant à chaque produit et éliminer le gaspillage,
  - établir des flux de valeur,
  - laisser le client tirer la valeur,
  - viser la perfection.

Peu d'auteurs considèrent ces deux approches simultanément dans le LPD, la deuxième approche étant la plus couramment considérée dans cette pensée. Il nous semble néanmoins important de les prendre en compte simultanément car elles ont chacune leur intérêt. Les travaux de [Hoppmann, 2009] proposent une vision synthétique de l'agrégation de ces deux approches, à travers une définition du LPD basée sur onze composantes, déclinées en 44 caractéristiques (tableau 9.1 et tableau 9.2). Ces travaux se basent sur une grande enquête faite sur 113 entreprises internationales ayant un bureau d'études et sur des secteurs différents et proposent le **Lean Innovation Roadmap** sur l'implantation du LPD dans des bureaux d'études (figure 9.3).

Néanmoins, nous avons remarqué que la littérature (dont les travaux de [Hoppmann, 2009]) n'a pas encore convergé sur une définition de la valeur bien représentative de l'activité de conception. Si l'innovation perçue par le client est souvent reconnue comme le point clé de réussite de ventes d'un produit dans le marché, et donc une activité à valeur ajoutée, le niveau de l'innovation dans chaque projet de développement de produit n'est pas le même. D'autre part, le processus de développement de produit reste une activité humaine largement contrôlée par les connaissances [Tomiyama *et al.*, 2009]. Ainsi, est-ce que les activités génératrices de connaissance peuvent être considérées comme des activités à valeur ajoutée (à condition d'être capitalisées) ?

Un autre point doit être souligné, le besoin d'étudier plus profondément les supports du PDP en termes de gestion d'information et de connaissances. De nombreux auteurs identifient des **gaspillages** associées à l'utilisation de ces outils comme le manque d'informations, le temps nécessaire pour obtenir une information, l'excès d'informations disponibles pour une requête, la non réutilisation d'une connaissance, etc. [Weber *et al.*, 2001], [Hicks, 2007].

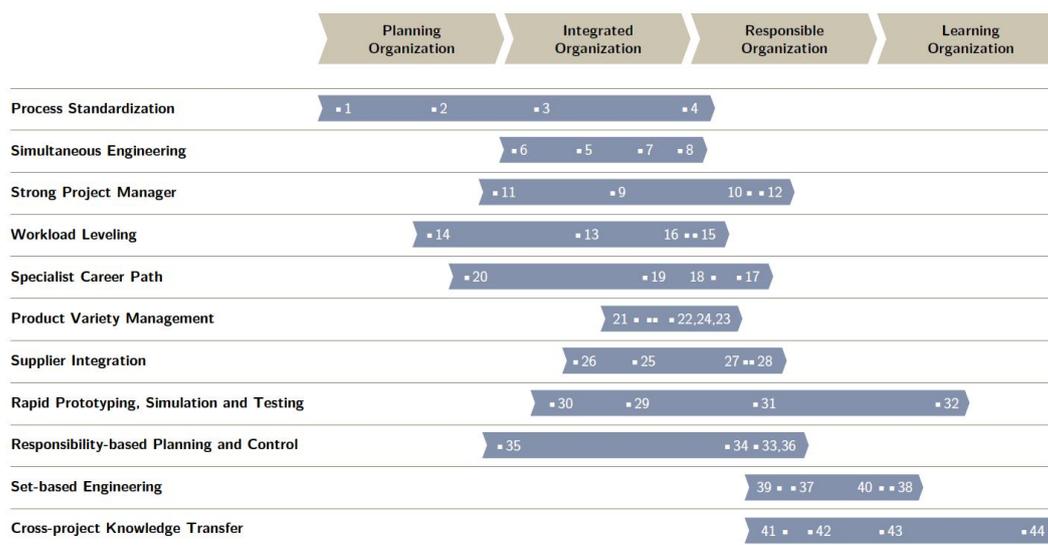


FIGURE 9.3 – Description de la Lean Innovation Roadmap (d’après [Hoppmann, 2009]).

A partir de ces travaux, nous avons exploré dans [Costa Affonso et Cheutet, 2011] quelle notion de valeur pouvait correspondre aux spécificités du PDP.

Comme la notion de valeur est attachée au client dans la pensée Lean, le premier aspect de la valeur dans l’activité de conception est associé au respect des besoins du client, i.e. la création ou l’optimisation de fonctions dans un produit ajoute de la valeur.

La notion de création de valeur a été étudiée dans [Ueda et al., 2008] pour conclure que, si la création d’un artefact commence par l’acquisition de connaissances sur l’existant (figure 9.4), un artefact fonctionnel ne crée pas toujours de la valeur. Il ne le fait qu’en apparaissant comme un acteur sur la scène composé de l’environnement (naturel et social) et des êtres humains.

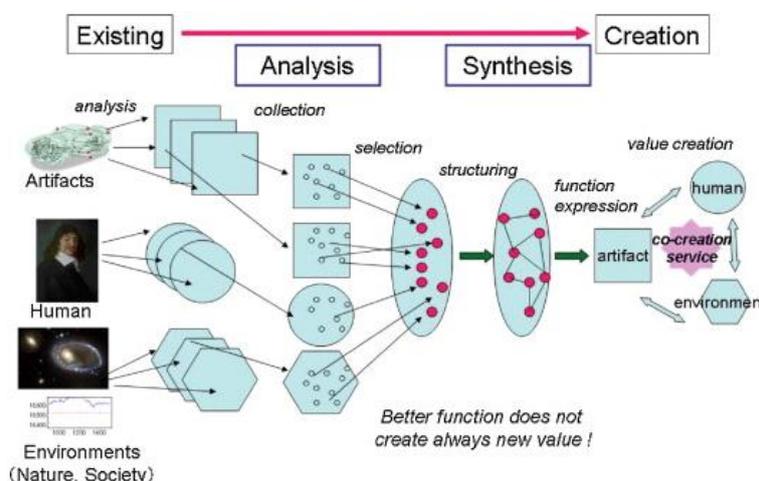


FIGURE 9.4 – De l’analyse de l’existant à la création de valeur (d’après [Ueda et al., 2008]).

En fait, l’innovation perçue par le client est actuellement reconnue comme étant une clé de

succès pour un produit sur le marché. Néanmoins, le niveau d'innovation attendue au sein du projet de conception peut influencer la notion de valeur.

Si l'importance des connaissances est reconnue, peu de travaux ont pour objet d'analyser la valeur d'une connaissance de manière quantitative. La connaissance est un objet tellement intangible qu'il est difficile de donner une définition de la valeur d'une connaissance qui serait largement partagée. Une définition possible pourrait être une base pour la quantification de la valeur d'une connaissance et aiderait à évaluer la "vraie" valeur d'une connaissance. L'utilisation de connaissances tacites est presque toujours incertaine, la valeur d'une connaissance est habituellement difficile à juger avant son application. Les travaux de [Xu et Bernard, 2011] discutent de cet aspect dans le contexte de développement de produits, en définissant une connaissance comme l'interaction entre des acteurs et des produits. A partir de cette proposition, la valeur de la connaissance est supposée être une évaluation de la capacité de cette connaissance à modifier l'état d'un produit dans des projets de conception futurs.

A partir de cette analyse, nous avons proposé de définir la valeur dans le LPD comme étant l'ensemble { **fonctionnalité de produit + innovation + connaissance** } : une activité ajoutée de la valeur si elle ajoute ou optimise une fonctionnalité au produit désiré par le client, et/ou si elle crée de l'innovation désirée ou acceptée par le client et/ou si elle crée des connaissances réutilisables pour l'organisation et les autres acteurs du PDP.

A la lecture de l'état de l'art et à partir de nos premiers éléments de réflexion, certaines questions sur le LPD sont essentielles à développer :

- Qu'est-ce que la valeur client en conception ?
- Est-il possible de définir une chaîne de valeur ajoutée en conception ?
- Si oui, quel support pour cette chaîne ?

La confrontation de notre définition de la valeur ainsi que l'étude des deux autres questions posées ci-dessus est au cœur du projet de thèse CIFRE déposé avec le groupe EXXELIA.

## 9.2 Traçabilité des informations et des connaissances dans le lien conception-production

La dernière question de la section précédente requiert la définition d'un processus de conception avec une granularité fine et de suivre le produit et/ou les informations et/ou les connaissances associées dans ce processus. Cette problématique est aussi apparue lors des travaux de thèse de Ludovic LOUIS-SIDNEY [Louis-Sidney, 2011], quand il a fallu cartographier les activités et les processus à capitaliser dans PKMS. Cette problématique correspond en fait à la **traçabilité des informations et des connaissances dans le PDP**.

Le concept de traçabilité existe depuis plus de 30 ans maintenant (le premier outil de traçabilité des exigences a été présenté en 1978 [Pierce, 1978]). Il existe plusieurs définitions proches, suivant le domaine concerné :

- en production et logistique, la traçabilité est définie par la norme [ISO-8402, 1991] comme **l'aptitude à retrouver l'historique, l'utilisation ou la localisation d'une entité au moyen d'identifications enregistrées**,
- en génie logiciel, la traçabilité est définie comme **la capacité à décrire et suivre la vie**

d'un artefact logiciel [Lago *et al.*, 2009].

Selon le sens dans lequel l'information est suivie, nous pouvons parler de traçabilité ascendante ou descendante [Tamayo-Giraldo, 2011] :

- la **Traçabilité Ascendante** sert à retrouver l'origine et les caractéristiques d'un produit à partir d'un ou plusieurs critères donnés. Elle sert notamment à trouver la cause d'un problème (qualité, sécurité, conformité, etc.).
- la **Traçabilité Descendante** permet, en tout point de la chaîne d'approvisionnements, de retrouver la localisation des produits à partir d'un ou plusieurs critères donnés. Elle sert notamment en cas de rappel ou de retrait de produits.

Des solutions de traçabilité des informations et des connaissances existent dans des domaines proches, comme dans l'ingénierie informatique où les auteurs de [Winkler et von Pilgrim, 2010] proposent un état de l'art complet de la recherche et des pratiques de la traçabilité dans l'ingénierie des exigences et le développement orienté modèle.

Dans le domaine de l'ingénierie des exigences, si la traçabilité incorpore une vision assez holistique, elle doit faire face à la difficulté d'enregistrer les liens de traçabilité entre des artefacts le plus souvent informels, mal structurés et variés, et d'intégrer ces liens. Un certain nombre de travaux tente de résoudre cette problématique, comme par exemple ceux de [Espinoza et Diaz, 2010] qui visent à tracer sémantiquement et préserver la chaîne de valeur entre les exigences sur le produit et l'architecture produit, ou ceux de [Ozkaya et Akin, 2007] et de [Brace et Cheutet, 2012] sur la traçabilité des exigences dans le PDP. La plupart de ces approches se basent sur l'ingénierie système, telle que définie par l'*International Council on Systems Engineering* [INCOSE, 2012], et sur le langage de modélisation *SysML*.

Si la notion de traçabilité des informations et des connaissances dans un projet de conception est elle aussi ancienne (elle est ainsi évoquée dans [Eynard, 1999]), elle n'a toujours pas atteint la même maturité qu'en génie logiciel, du fait de la complexité intrinsèque du projet de conception, à travers la multiplicité des acteurs (et donc des points de vues et des interactions) intervenant dans ce processus, la part d'innovation inhérente à chaque projet et le manque de formalisation fine du processus lui-même. On peut néanmoins citer les travaux de [Ouertani et Gzara, 2008] proposant un environnement traçant sur la gestion de conflits ou ceux de [Mohan et Ramesh, 2002] proposant un système de traçabilité sur les décisions de gestion de la variabilité d'une famille de produits et de services, qui peuvent apporter un début de solution à la traçabilité des informations en conception.

Ces dernières années, et principalement grâce au projet européen **PROMISE** (PROduct lifecycle Management and Information tracking using Smart Embedded systems), le concept de **closed-loop PLM** [Jun *et al.*, 2007] s'est développé et offre, entre autres, des solutions répondant à cette problématique de traçabilité grâce à l'utilisation de technologies PEID (Product Embedded Information Devices) [Kiritsis, 2011].

Le domaine scientifique du **Design Rationale** [Lee, 1997], [Szykman *et al.*, 2001], et plus particulière du **Design Rationale Capture** [Bracewell *et al.*, 2009], [Wang *et al.*, 2012], vise de manière complémentaire à répondre au besoin de capturer les raisons derrière les décisions prises lors de la conception d'un système. Cependant, le processus de capture du Design Rationale reste largement porté par les acteurs et orienté texte.

Au sein de cet axe de recherche, je propose dans un premier temps de coupler les approches

du Design Rationale avec les travaux de l'interopérabilité de Thomas PAVIOT [Paviot, 2010] pour apporter une contribution sur la problématique de la traçabilité. En effet, les médiateurs multi-niveaux permettent, d'une part, d'assurer la continuité des flux numériques de données et d'informations, et d'autre part, d'orchestrer et de collecter ces flux. De fait, il serait intéressant de les instrumenter pour assurer la traçabilité des informations et de comparer cette approche avec le closed-loop PLM.

### 9.3 Agilité des systèmes d'information

La mise en œuvre d'un SI est actuellement un processus long et fastidieux pour une entreprise, qui souvent impose plus un mode de fonctionnement que retranscrit les pratiques réelles de chaque acteur. D'autre part, une fois le SI déployé au sein de l'organisation, il est extrêmement difficile de le modifier pour l'adapter aux évolutions.

Le concept de **production agile** est une notion qui a maintenant plus de 15 ans. L'agilité caractérise ici une propriété d'adaptation du système après occurrence d'un événement. Celle-ci met en œuvre deux autres propriétés d'adaptation que sont la réactivité et l'adaptabilité [Iskanius, 2006], [Barzi, 2007]. L'agilité inclut également la notion de performance que [Lelièvre, 2011] traduit par la fiabilité de la décision prise [Nagel *et al.*, 1991] ; [Goldman, 1994]. Il est à noter que plusieurs travaux dont [Coronado *et al.*, 2002] et [Dowlatshahi et Cao, 2006] mettent en avant l'importance des SI pour supporter ce concept.

De fait, en génie logiciel, ces dernières années ont vu l'émergence des **méthodes agiles**, qui se veulent plus pragmatiques que les méthodes traditionnelles de développement logiciel [Dyba et Dingsoyr, 2008], [Vickoff, 2009]. Elles impliquent au maximum le demandeur (client) et permettent une grande réactivité à ses demandes. Elles visent la satisfaction réelle du besoin du client en priorité aux termes d'un contrat de développement. Les deux méthodes agiles désormais les plus utilisées sont : la méthode Scrum [Schwaber, 1995] et la méthode XP (Extreme Programming) [Beck, 1999].

Les méthodes agiles prônent 4 valeurs fondamentales [Agile Alliance, 2001] :

- **l'équipe** : dans l'optique agile, l'équipe est bien plus importante que les outils (structures ou de contrôle) ou les procédures de fonctionnement. Il est préférable d'avoir une équipe soudée et qui communique, composée de développeurs (éventuellement à niveaux variables), plutôt qu'une équipe composée d'experts fonctionnant chacun de manière isolée. La communication est une notion fondamentale,
- **l'application** : il est vital que l'application fonctionne. Le reste, et notamment la documentation technique, est une aide précieuse mais non un but en soi. Une documentation précise est utile comme moyen de communication. La documentation représente une charge de travail importante, mais peut pourtant être néfaste si elle n'est pas à jour. Il est préférable de commenter abondamment le code lui-même, et surtout de transférer les compétences au sein de l'équipe (on en revient à l'importance de la communication),
- **la collaboration** : le client doit être impliqué dans le développement. On ne peut se contenter de négocier un contrat au début du projet, puis de négliger les demandes du client. Le client doit collaborer avec l'équipe et fournir un feed-back continu sur l'adaptation du logiciel à ses attentes,

- **l'acceptation du changement** : la planification initiale et la structure du logiciel doivent être flexibles afin de permettre l'évolution de la demande du client tout au long du projet. Les premières livraisons du logiciel vont souvent provoquer des demandes d'évolution.

Néanmoins, ces méthodes mettent l'accent sur un processus de développement agile, mais aucun résultat ne vérifie si le SI développé est lui-même agile. Les travaux de thèse de [Truptil, 2011] posent aussi le problème de l'agilité d'un SI dans le contexte d'une crise, et plus particulièrement celle d'un système de médiation.

D'après [Coronado *et al.*, 2002], pour soutenir un système de production agile, un SI se doit d'avoir les caractéristiques décrites dans la figure 9.5.

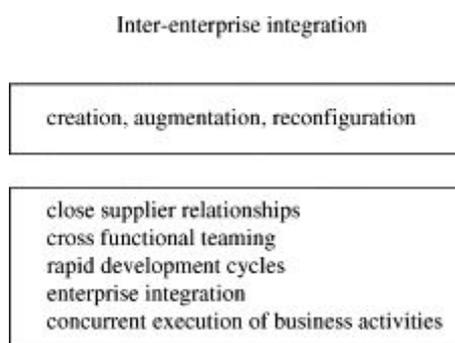


FIGURE 9.5 – Caractéristiques d'un SI pour une production agile (d'après [Coronado *et al.*, 2002]).

Au vu de la complexité du PDP et du système de conception, il faut imaginer de nouvelles propriétés pour qu'un SI puisse être considéré comme agile dans ce cadre. Dans une vision où l'innovation est au cœur des préoccupations industrielles, le SI ne peut plus être prescriptif mais réactif aux évolutions du système de conception. Il doit devenir **apprenant**.

A cette fin, deux objectifs principaux guideront cet axe de recherche :

- définir des critères précis et spécifiques, permettant de caractériser l'agilité d'un SI,
- coupler les méthodes présentées dans l'axe précédent, généralement assez peu invasives dans le travail du concepteur, avec des méthodes dites apprenants (comme les réseaux de neurones [Krose *et van der Smagt*, 1996]) en profitant de l'intégration poussée du numérique dans le système de conception, pour proposer une nouvelle génération d'outils d'aide à la conception et de SI, qui apprendraient des précédents projets et proposeraient alors des solutions au concepteur.

Components		Characteristic	
11	Process Standardization	1	Standard milestones define a sequence in which the development tasks are conducted
		2	Standardized tools are used for project planning and control
		3	Standardized tools and procedures are used for design tasks
		4	Standardized documents are used for capturing knowledge and lessons learned
10	Simultaneous Engineering	5	Representatives from manufacturing, quality assurance and purchasing are integrated in the concept definition phase
		6	There are frequent review meetings with development, manufacturing, quality assurance and purchasing
		7	There is a formalized process for evaluating design proposals regarding manufacturing and assembly compatibility
		8	Development and testing of production facilities is done in parallel to product development
9	Strong Project Manager	9	Project manager leads the product development project from concept to market
		10	Project manager defines the product concept and advocates the customer value
		11	Project manager sets the project timeframe and controls the adherence to it
		12	Project manager chooses the technology and makes major component choices
8	Workload Leveling	13	Product development resources are planned on a cross-project basis
		14	Development activities are scheduled and prioritized
		15	Actual and planned capacity utilization are compared frequently
		16	Resources are flexibly adapted in case of occurring bottlenecks
7	Specialist Career Path	17	There is a designated career path for technical specialists in their functional areas
		18	Promotion is based on functional experience and knowledge
		19	More experienced employees are responsible for mentoring and supporting junior engineers
		20	Performance of individuals is regularly evaluated and discussed in feedback meetings

TABLE 9.1 – Caractéristiques du LPD numérotées (d'après [Hoppmann, 2009]) - Partie 1/2.

Components		Characteristic	
6	Product Variety Management	21	There are clear goals for the use of off-the-shelf components within a product
		22	There are clear goals for the reuse of product parts among different modules, products and product families
		23	There are modular components with standardized interfaces
		24	There are common product platforms encompassing several product lines
5	Supplier Integration	25	Parts are evaluated according to their criticality before making outsourcing decisions
		26	A small number of high-capability suppliers are used for critical parts
		27	Critical suppliers are integrated in the concept definition phase
		28	Suppliers are mentored to improve their performance
4	Rapid Prototyping, Simulation and Testing	29	Designs are quickly modeled and tested using physical models
		30	Computer-aided modeling and simulation are used
		31	Rapid prototyping technology is used
		32	Methods of Lean Production are used in prototype build and tool manufacturing
3	Responsibility-based Planning and Control	33	Developers are given the opportunity to set their own goals and negotiate deadlines for their tasks
		34	Developers are given the opportunity to check their own performance based on a formalized feedback process
		35	Developers are evaluated based on their performance
		36	Developers are given the opportunity to experiment with new approaches to improve efficiency
2	Set-based Engineering	37	A large number of possible solutions for a product module are considered early in the process
		38	Alternative solutions for a product module are designed and tested simultaneously
		39	Decisions are delayed in favor of a particular solution until objective data are available
		40	A concept for a product module is not revised once it has been selected
1	Cross-project Knowledge Transfer	41	There are methods and devices to collect information on successful procedures, tools and designs across projects
		42	Best practices and lessons learned from previous projects are reviewed
		43	Documented knowledge is continuously updated by the engineers
		44	The collected knowledge is frequently simplified and generalized

TABLE 9.2 – Caractéristiques du LPD numérotées (d’après [Hoppmann, 2009]) - Partie 2/2.

# Bibliographie

- [Abdulmalek et Rajgopal, 2007] ABDULMALEK, F. et RAJGOPAL, J. (2007). Analyzing the benefits of lean manufacturing and value stream mapping via simulation : A process sector case study. *International Journal of Production Economics*, 107(1):223–236.
- [Agile Alliance, 2001] AGILE ALLIANCE (2001). Manifeste pour le développement agile de logiciels. <http://agilemanifesto.org/>, lien validé en octobre 2012.
- [AIM@SHAPE, 2004] AIM@SHAPE (2004). Advanced and innovative models and tools for the development of semantic-based systems for handling, acquiring, and processing knowledge embedded in multidimensional digital objects. European Network of Excellence, Key Action : 2.3.1.7 Semantic-based knowledge systems, VI Framework, Contract IST 506766.
- [Audrain, 2008] AUDRAIN, P. (2008). Gestion des actifs industriels : intégration d'un eam "enterprise asset management" et d'un pdm "product data management". In *États généraux de MICADO*, ENS Cachan, France.
- [Ayadi *et al.*, 2011] AYADI, M., COSTA AFFONSO, R., CHEUTET, V., MASMOUDI, F., RIVIERE, A. et HADDAR, M. (2011). Proposition d'un modèle d'intégration des simulations pour l'usine numérique. In *7<sup>ième</sup> Conférence Internationale Conception & Production Intégrées CPI'11*, Oujda - Maroc.
- [Baines *et al.*, 2006] BAINES, T., LIGHTFOOT, H., WILLIAMS, G. et GREENOUGH, R. (2006). State-of-the-art in lean design engineering : a literature review on white collar lean. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers - Part B : Journal of Engineering Manufacture*, 220:1539–1547.
- [Baizet, 2004] BAIZET, Y. (2004). *La gestion des connaissances en conception - Application à la simulation numérique chez Renault-DIEC*. Thèse de doctorat, Université Joseph Fourier - Grenoble 1.
- [Baïna, 2006] BAÏNA, S. (2006). *Interopérabilité dirigée par les modèles : Une Approche Orientée Produit pour l'interopérabilité des systèmes d'entreprise*. Thèse de doctorat, Université Henri Poincaré, Nancy I.
- [Barkmeyer *et al.*, 1999] BARKMEYER, E., DENNO, P., FENG, S., JONES, A. et WALLACE, E. (1999). Nist response to mes request for information. NIST Response to RFI-3 : MES Models.
- [Barzi, 2007] BARZI, R. (2007). Le concept de l'agilité à l'épreuve de la pme : Cas de l'industrie de l'habillement. In *16<sup>ième</sup> Conférence Internationale de Management Stratégique*.
- [Beck, 1999] BECK, K. (1999). *Extreme Programming Explained : Embrace Change*. Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., Boston, USA.

- [Ben Khedher *et al.*, 2012] BEN KHEDHER, A., BOURAS, A. et HENRY, S. (2012). Quality improvement of product data exchanged between engineering and production through the integration of dedicated information systems. *In ASME 2012 11th Biennial Conference on Engineering Systems Design and Analysis (ESDA2012)*, Nantes - France.
- [Bley et Franke, 2004] BLEY, H. et FRANKE, C. (2004). Integration of product design and assembly planning in the digital factory. Institute for Production Engineering/CAM Saarland University, Germany, p6.
- [Bénaben *et al.*, 2008] BÉNABEN, F., TOUZI, J., LORRÉ, J. et PINGAUD, H. (2008). Du processus collaboratif au médiateur des systèmes d'information des partenaires. *In 7<sup>ième</sup> Conférence Internationale de Modélisation et Simulation MOSIM'08*, volume 2, pages 837–846, Paris - France.
- [Brace et Cheutet, 2012] BRACE, W. et CHEUTET, V. (2012). A framework to support requirements analysis in engineering design. *Journal of Engineering Design*, 23(12):876–904.
- [Bracewell *et al.*, 2009] BRACEWELL, R., WALLACE, K., MOSS, M. et KNOTT, D. (2009). Capturing design rationale. *Computer-Aided Design*, 41(3):173–186.
- [Bracht et Masurat, 2005] BRACHT, U. et MASURAT, T. (2005). The digital factory between vision and reality. *Computers in Industry*, 56(4):325–333.
- [Bucki et Pesqueux, 1994] BUCKI, J. et PESQUEUX, Y. (1994). Pour un renouveau du concept de système d'information. <http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00494174>.
- [Buda *et al.*, 2011] BUDA, A., MAKKONEN, P., DERROISNE, R. et CHEUTET, V. (2011). Pdm suitability study for cae data management. *In 8<sup>th</sup> International Conference on Product Life-cycle Management PLM'11*, Eindhoven - Pays-Bas.
- [Bullinger, 1997] BULLINGER, H. (1997). Paradigm change in production management : New lead concepts towards higher competitiveness in technology based enterprises. *International Journal of Production Economics*, 52(1-2):215–225.
- [Cacciatori, 2008] CACCIATORI, E. (2008). Memory objects in project environments : Storing, retrieving and adapting learning in projects-based firms. *Research Policy*, 37(9):1591–1601.
- [Catalano *et al.*, 2009] CATALANO, C., CAMOSSO, E., FERRANDES, R., CHEUTET, V. et SEVILMIS, N. (2009). A product design ontology for enhancing shape processing in design workflows. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 20(5):553–567.
- [Caulier, 2001] CAULIER, P. (2001). Méthodologie de conception ascendante de systèmes d'information. *In ZACKLAND, M. et GRUNDSTEIN, M., éditeurs : Ingénierie et capitalisation des connaissances*, chapitre 5, pages 109–132. Edition Hermès Sciences.
- [Charles *et al.*, 2005] CHARLES, S., EYNARD, B., BARTHOLOMEW, P. et PALECZNY, C. (2005). Standardisation of the finite element analysis data exchanges in aeronautics concurrent engineering. *Journal of Computing and Information Science in Engineering*, 5(1):63–66.
- [Chen et Vernadat, 2004] CHEN, D. et VERNADAT, F. (2004). Standards on enterprise integration and engineering - state of the art. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 17(3):235–253.
- [Cheung *et al.*, 2010] CHEUNG, W., MAROPOULOS, P. et MATTHEWS, P. (2010). Linking design and manufacturing domains via web-based and enterprise integration technologies. *International Journal of Computer Applications in Technology*, 37(3-4):182–197.

- [Cheutet *et al.*, 2008] CHEUTET, V., CAMPANICO, F., LÉON, J. et FINE, L. (2008). Explicitation et raisonnement à partir d'informations sémantiques extraites de la maquette numérique. *In 7<sup>ième</sup> Conférence Internationale de Modélisation et Simulation MOSIM'08*, Paris - France.
- [Cheutet *et al.*, 2011] CHEUTET, V., LAMOURE, S. et DERROISNE, R. (2011). Proposition of a framework for consistency management between digital factory simulations. *In 4<sup>th</sup> International Conference on Industrial Engineering and Systems Management IESM'11*, Metz - France.
- [Cheutet *et al.*, 2010] CHEUTET, V., LAMOURE, S., PAVIOT, T. et DERROISNE, R. (2010). Consistency management of simulation information in digital factory. *In 8<sup>ième</sup> Conférence Internationale de Modélisation et Simulation MOSIM'10*, Hammamet - Tunisie.
- [Chryssolouris *et al.*, 2009] CHRYSOLOURIS, G., MAVRIKIOS, D., PAPAKOSTAS, N., MOURTZIS, D., MICHALOS, G. et GEORGOULIAS, K. (2009). Digital manufacturing : history, perspectives, and outlook. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part B, Journal of Engineering Manufacture*, 223:451–462.
- [CIMdata, 2012] CIMDATA (2012). cpdm - the key to harnessing innovation in an ebusiness world. [http://www.cimdata.com/plm/definition\\_cpdm.html](http://www.cimdata.com/plm/definition_cpdm.html), lien validé en mai 2012.
- [Cloke, 2000] CLOKE, B. (2000). Lean products start with lean design. *Advanced Manufacturing Magazine*, 2(2):35–39.
- [CNSS, 2006] CNSS (2006). National information assurance (ia) glossary.
- [Corbel, 1997] CORBEL, J. (1997). Méthodologie de retour d'expérience : démarche merex de renault. *In* FOUET, éditeur : *Connaissances et savoir-faire en entreprise*, chapitre 4, pages 93–110. Edition Hermès Paris.
- [Coronado *et al.*, 2002] CORONADO, A., SARHADI, M. et MILLAR, C. (2002). Defining a framework for information systems requirements for agile manufacturing. *International Journal of Production Economics*, 75(1-2):57–68.
- [Costa et Young, 2001] COSTA, C. et YOUNG, R. (2001). Product range models supporting design knowledge reuse. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part B, Journal of Engineering Manufacture*, 215:323–337.
- [Costa Affonso et Cheutet, 2011] COSTA AFFONSO, R. et CHEUTET, V. (2011). Lean product development : analyse et confrontation aux méthodes de conception. *In 9<sup>ième</sup> Congrès International de Génie Industriel CIGI'11*, Saint Sauveur - Canada.
- [Costa Affonso *et al.*, 2012] COSTA AFFONSO, R., CHEUTET, V., AYADI, M., RIVIERE, A. et HADDAR, M. (2012). Simulations dans le cycle de vie du produit : vers une meilleure gestion d'informations dans un projet de conception. *In 1<sup>ière</sup> Conférence internationale en gestion de projet CIGP2012*, Trois-Rivières - Canada.
- [Coze *et al.*, 2009] COZE, Y., KAWSKI, N., KULKA, T., SIRE, P., SOTTOCASA, P. et BLOEM, J. (2009). *Virtual concept real profit with digital manufacturing and simulation*. Dassault Systèmes and Sogeti.
- [David, 2007] DAVID, B. (2007). De la gestion des connaissances au management global du capital intellectuel. *In* BARRE, R., DE LAAT, B. et THEYS, J., éditeurs : *Management de la recherche*, chapitre 5, pages 198–218. De Boeck Supérieur.
- [Donovan *et al.*, 1998] DONOVAN, J., TULLY, R. et WORTMAN, B. (1998). *The Value Enterprise : Strategies for Building a Value-Based Organization*. McGraw-Hill/Ryerson, Toronto.

- [Dowlatshahi et Cao, 2006] DOWLATSHAHI, S. et CAO, Q. (2006). The relationships among virtual enterprise, information technology, and business performance in agile manufacturing : An industry perspective. *European Journal of Operational Research*, 174(2):835–860.
- [Dyba et Dingsoyr, 2008] DYBA, T. et DINGSOYR, T. (2008). Empirical studies of agile software development : A systematic review. *Information and Software Technology*, 50(9-10):833–859.
- [Eckert *et al.*, 2006] ECKERT, C., KELLER, R., EARL, C. et CLARKSON, P. (2006). Supporting change processes in design : complexity, prediction and reliability. *Reliability Engineering & System Safety*, 91(12):1521–1534.
- [EIF, 2004] EIF (2004). European interoperability framework - white paper.
- [Ermine, 2004] ERMINE, J. (2004). Introduction au knowledge management. In BOUGHZALA, I. et ERMINE, J., éditeurs : *Management des connaissances en entreprise*, chapitre 2, pages 55–77. Edition Hermès Science.
- [Ermine, 2001] ERMINE, J. L. (2001). Capitaliser et partager les connaissances avec la méthode mask. In ZACKLAND, M. et GRUNDSTEIN, M., éditeurs : *Ingénierie et capitalisation des connaissances*, chapitre 4, pages 67–102. Edition Hermès Sciences publication.
- [Espinoza et Diaz, 2010] ESPINOZA, A. et DIAZ, J. (2010). A traceability semantics approach for supporting product value analysis. In *11<sup>th</sup> International Conference on Product Focused Software, PROFES '10*, pages 102–104, Limerick - Ireland.
- [Eynard, 1999] EYNARD, B. (1999). *Modélisation du produit et des activités de conception : contribution à la conduite et à la traçabilité du processus d'ingénierie*. Thèse de doctorat, Université de Bordeaux 1.
- [Eynard *et al.*, 2004] EYNARD, B., GALLET, T., NOWAK, P. et ROUCOULES, L. (2004). UML based specifications of PDM product structure and workflow. *Computers in Industry*, 55(3): 301–316.
- [Fenves *et al.*, 2008] FENVES, S., FOUFOU, S., BOCK, C. et SRIRAM, R. (2008). Cpm2 : A core model for product data. *Journal of Computing and Information Science in Engineering*, 8(1):014501.
- [Fortineau *et al.*, 2011] FORTINEAU, V., PAVIOT, T., LAMOURI, S. et THOMAZO, M. (2011). Utilisation d'ontologies pour le plm : Etat de l'art. In *7<sup>ième</sup> Conférence Internationale Conception & Production Intégrées CPI'11*, Oujda - Maroc.
- [Galeta *et al.*, 2006] GALETA, T., KLJAJIN, M. et KARAKASIC, M. (2006). Product model suited for the erp system. In *9<sup>th</sup> International Design Conference 2006*, Dubrovnik - Croatie.
- [Gallagher *et al.*, 2002] GALLAGHER, M., O'CONNOR, A. et PHELPS, T. (2002). Economic impact assessment of the international step standard in transportation equipment industries. National Institute of Standards and Technology.
- [Gallet *et al.*, 2007] GALLET, T., GUYOT, E., DUCELLIER, G. et EYNARD, B. (2007). Interopérabilité des logiciels cao et calcul avec un sgdt dans une chaîne de conception aéronautique. In *5<sup>ième</sup> Conférence Internationale Conception et Production Intégrées CPI'07*, Rabat - Maroc.
- [Gero et Rosenman, 1996] GERO, J. et ROSENMAN, M. (1996). Modelling multiple views of design objects in a collaborative cad environment. In *INCIT Proceedings*, pages 49–62.
- [Giménez *et al.*, 2008] GIMÉNEZ, D., VEGETTI, M., LEONE, H. et HENNING, G. (2008). Product ONTOlogy : Defining product-related concepts for logistics planning activities. *Computers in Industry*, 59(2–3):231–241.

- [Goldman, 1994] GOLDMAN, S. (1994). Agile competition and virtual corporations. *National Forum*, pages 2–43.
- [Grabot *et al.*, 2008] GRABOT, B., MAYÈRE, A. et BAZET, I. (2008). *ERP Systems and Organisational Change : A Socio-technical Insight*. Springer Verlag.
- [Gruber, 1993] GRUBER, T. (1993). A translation approach to portable ontology specification. *Knowledge Acquisition*, 5:199–220.
- [Grundstein, 2002] GRUNDSTEIN, M. (2002). De la capitalisation des connaissances au renforcement des compétences dans l'entreprise étendue. In *Actes du premier colloque du groupe de travail Gestion des Compétences et des Connaissances en Génie Industriel - Vers l'articulation entre Compétences et Connaissances*.
- [Grundstein, 2004] GRUNDSTEIN, M. (2004). De la capitalisation des connaissances au management des connaissances dans l'entreprise. In BOUGHZALA, I. et ERMINE, J., éditeurs : *Management des connaissances en entreprise*, chapitre 1, pages 25–54. Edition Hermès Science.
- [Grundstein et Rosenthalsabroux, 2004] GRUNDSTEIN, M. et ROSENTHALSABROUX, C. (2004). Gameth : A decision support approach to identify and locate potential crucial knowledge. In *5<sup>th</sup> Conference on Knowledge Management ECKM*, Paris - France.
- [Gunendran et Young, 2006] GUNENDRAN, A. G. et YOUNG, R. I. M. (2006). An information and knowledge framework for multi-perspective design and manufacturing. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 19:4326–4338.
- [Gupta et Gurumoorthy, 2008] GUPTA, R. et GURUMOORTHY, B. (2008). A feature-based framework for semantic interoperability of product models. *Journal of Mechanical Engineering*, 54(6):446–457.
- [Guyot *et al.*, 2007] GUYOT, E., DUCELLIER, G., EYNARD, B., GIRARD, P. et GALLET, T. (2007). Product data and digital mock-up exchange based on plm. In *4<sup>th</sup> International Conference on Product Lifecycle Management PLM'07*, Stezzano - Italie.
- [Hall *et al.*, 2009] HALL, A., LAMOURI, S. et COSTA AFFONSO, R. (2009). Lean product development theory. In *3<sup>rd</sup> International Conference on Software, Knowledge and Information Management and Applications SKIMA'09*, Fes - Maroc.
- [Hammadi *et al.*, 2011] HAMMADI, M., LOUATI, J., CHOLEY, J., HADDAR, M. et RIVIERE, A. (2011). Towards a multiphysical integrated modelling approach in automotive mechatronics design. In *4<sup>ième</sup> Congrès International : Conception et Modélisation des Systèmes Mécaniques - CMSM'11*, Sousse - Tunisie.
- [Hamri *et al.*, 2006] HAMRI, O., LÉON, J., GIANNINI, F., FALCIDIANO, B., POULAT, A. et FINE, L. (2006). Interfacing product views through amixed shape representation. part 1 : Data structures and operators. In *Virtual Concept 2006*, Cancun - Mexique.
- [Haque et Moore, 2004] HAQUE, B. et MOORE, M. (2004). Measures of performance for lean product introduction in the aerospace industry. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers - Part B : Journal of Engineering Manufacture*, 208(10):1387–1398.
- [Hicks, 2007] HICKS, B. (2007). Lean information management : understanding and eliminating waste. *International journal of Information Management*, 27:233–249.
- [Hoffmann, 2008] HOFFMANN, P. (2008). *Similarité sémantique inter-ontologies basée sur le contexte*. Thèse de doctorat, Université Claude Bernard - Lyon 1.

- [Holweg, 2007] HOLWEG, M. (2007). The genealogy of lean production. *Journal of Operations Management*, 25(2):420–437.
- [Hoppmann, 2009] HOPPMANN, J. (2009). *The Lean Innovation Roadmap - A Systematic Approach to Introducing Lean in Product Development Processes and Establishing a Learning Organization*. Thèse de doctorat, Technical University of Braunschweig.
- [Houlihan, 2008] HOULIHAN, D. (2008). Integrating the plm ecosystem. Benchmark Report, Aberdeen Group.
- [Howell et Ballard, 1994] HOWELL, G. et BALLARD, G. (1994). Lean production theory : Moving beyond 'can-do'. In *2<sup>nd</sup> Conference of the International Group for Lean Construction*, Santiago - Chile.
- [INCOSE, 2012] INCOSE (2012). What is systems engineering? <http://www.incose.org/practice/whatisystemseng.aspx>, lien validé en avril 2012.
- [Iskanius, 2006] ISKANIUS, P. (2006). *An agile supply chain for a project-oriented steel product network*. Thèse de doctorat, Université de Oulu.
- [ISO-10303-239, 2005] ISO-10303-239 (2005). Systèmes d'automatisation industrielle et intégration - représentation et échange de données de produits - partie 239 : protocole d'application : cycle de vie du produit et modules d'application. International Standard Organization.
- [ISO-14258, 1998] ISO-14258 (1998). Systèmes d'automatisation industrielle - concepts et règles pour modèles d'entreprise. International Standard Organization.
- [ISO-8402, 1991] ISO-8402 (1991). Gestion de la qualité et l'assurance de la qualité. International Standard Organization 9000-9004.
- [Joo et Lee, 2009] JOO, J. et LEE, S. (2009). Adoption of the semantic web for overcoming technical limitations of knowledge management systems. *Expert Systems with Applications*, 36(3-2):7318–7327.
- [Joshi, 2004] JOSHI, A. (2004). Cae data management using traditional pdm systems. In *ASME 2004 Design Engineering Technical Conferences*, Salt Lake City - USA.
- [Jun et al., 2007] JUN, H., KIRITSIS, D. et XIROUCHAKIS, P. (2007). Research issues on closed-loop plm. *Computers in Industry*, 58(8-9):855–868.
- [Kadiri et al., 2009] KADIRI, S., PERNELLE, P., DELATTRE, M. et BOURAS, A. (2009). Current situation of plm systems in sme/smi : Surveys results and analysis. In *6<sup>th</sup> International Conference on Product Lifecycle Management*, Bath - Royaume Uni.
- [Karlsson et Ahlström, 1996] KARLSSON, C. et AHLSTRÖM, P. (1996). The difficult path to lean product development. *Journal of Product Innovation Management*, 13(4):283–295.
- [Katz et Schuh, 1998] KATZY, B. et SCHUH, G. (1998). The virtual enterprise. In *Handbook of life cycle engineering : Concepts, methods and tools*, pages 59–92. Dordrecht : Kluwer Academic Publishers.
- [Kühn, 2006] KÜHN, W. (2006). Digital factory - integration of simulation enhancing the product and production process towards operative control and optimisation. *International Journal of Simulation Systems, Science & Technology*, 7(7):27–39.
- [Kibamba et al., 2009] KIBAMBA, Y., GALLET, T., EYNARD, B., TROUSSIER, N. et DERIGENT, W. (2009). Plm - digital engineering and numerical simulation for collaborative product development. In *International Conference on Research into Design, ICoRD'09*, Bangalore - India.

- [Kiritsis, 2011] KIRITSIS, D. (2011). Closed-loop plm for intelligent products in the era of the internet of things. *Computer-Aided Design*, 43(5):479–501.
- [Klein, 1995] KLEIN, M. (1995). idcss : Integrating workflow, conflict and rationale-based concurrent engineering coordination technologies. *Concurrent Engineering : Research and Applications*, 3(1):21–27.
- [Krause et al., 1993] KRAUSE, L., KIMURA, F., KJELLBERGA, T. et LU, S. (1993). Product modelling. *Annals of the CIRP*, 42(2):695–706.
- [Krose et van der Smagt, 1996] KROSE, B. et VAN DER SMAGT, P. (1996). *An introduction to neural networks*. University of Amsterdam.
- [Lago et al., 2009] LAGO, P., MUCCINI, H. et VAN VLIET, H. (2009). A scoped approach to traceability management. *Journal of Systems and Software*, 82(1):168–182.
- [Lamour, 2006] LAMOURI, S. (2006). Synchronisation des prises de décisions dans une chaîne logistique : robustesse et stabilité. Habilitation à Diriger des Recherches, École Doctorale d’Informatique et Électronique de Paris.
- [Le Moigne, 1977] LE MOIGNE, J. (1977). *La théorie du système général - théorisation de la modélisation*. Presses Universitaires de France, première édition.
- [Le Moigne, 1990] LE MOIGNE, J. (1990). *La modélisation des systèmes complexes*. Dunod Paris.
- [Lee, 1997] LEE, J. (1997). Design rationale systems : Understanding the issues. *IEEE Expert*, pages 78–85.
- [Lee et Jeong, 2006] LEE, S. et JEONG, Y. (2006). A system integration framework through development of iso 10303-based product model for steel bridges. *Automation in Construction*, 15(2):212–228.
- [Lefèvre et al., 2012] LEFÈVRE, J., CHARLES, S., BOSCH-MAUCHAND, M., EYNARD, B. et PADIOLLEAU, E. (2012). Conception multi-échelle de systèmes mécatroniques dans une approche intégrée et interopérable. In *13<sup>ième</sup> colloque National AIP-PRIMECA*, Le Mont-Dore - France.
- [Lelièvre, 2011] LELIÈVRE, A. (2011). *Définition d’un cadre conceptuel et méthodologique pour concevoir un système à flexibilité souhaitée*. Thèse de doctorat, Ecole Centrale Paris.
- [Li et al., 2005] LI, Z., LIU, M., ANDERSON, D. et RAMANI, K. (2005). Semantics-based design knowledge annotation and retrieval. In *ASME 2005 International Design Engineering Technical Conferences*, Long Beach - USA.
- [Liu et Young, 2007] LIU, S. et YOUNG, R. (2007). An exploration of key information models and their relationships in global manufacturing decision support. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part B, Journal of Engineering Manufacture*, 221:711–724.
- [Liu et Lim, 2010] LIU, Y. et LIM, S. (2010). Using ontology for design information and knowledge management : a critical review. In *20<sup>th</sup> CIRP Design conference*, Nantes - France.
- [Léon et al., 2001] LÉON, J., REJNERI, N. et DEBARBOUILLÉ, G. (2001). Assembly/disassembly simulation early during a design process. In *ASME 2001 International Design Engineering Technical Conferences*, Pittsburg - USA.
- [Louis-Sidney, 2011] LOUIS-SIDNEY, L. (2011). *Modèles et outils de capitalisation des connaissances en conception - Contribution au management et à l’ingénierie des connaissances chez Renault - DCT*. Thèse de doctorat, Ecole Centrale Paris.

- [Louis-Sidney *et al.*, 2012a] LOUIS-SIDNEY, L., CHEUTET, V., LAMOURE, S., PURON, O. et MEZZA, A. (2012a). A conceptual model for the implementation of ikoes (an inter-knowledge objects exchange system) in automotive industry. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 5(5):1090–1101.
- [Louis-Sidney *et al.*, 2012b] LOUIS-SIDNEY, L., CHEUTET, V., LAMOURE, S., PURON, O. et MEZZA, A. (2012b). Proposition d'un système de gestion des connaissances orienté processus en conception. In *13<sup>ième</sup> Colloque National AIP PRIMECA*, Mont Dore - France.
- [Lu *et al.*, 2000] LU, S., CAI, J., BURKETT, W. et UDWADIA, F. (2000). A methodology for collaborative design process and conflict analysis. *CIRP Annals*, 49(1):69–73.
- [Matsokis et Kiritsis, 2011] MATSOKIS, A. et KIRITSIS, D. (2011). Ontology applications in plm. *International Journal of Product Lifecycle Management*, 5(1):84–97.
- [McKay *et al.*, 1996] MCKAY, A., ERENS, F. et BLOOR, M. (1996). Relating product definition and product variety. *Research in Engineering Design*, 8:63–80.
- [Mikulina, 1998] MIKULINA, T. (1998). The parallel between product development and production and building design and construction. In *Conference of the Design Build Institute of America*, Chicago - USA.
- [Mo, 2009] MO, J. (2009). The role of lean in the application of information technology to manufacturing. *Computers in Industry*, 60(4):266–276.
- [Mohan et Ramesh, 2002] MOHAN, K. et RAMESH, B. (2002). Managing variability with traceability in product and service families. In *35<sup>th</sup> Hawaii International Conference on System Sciences*, Hawaii - USA.
- [MOKA, 2000] MOKA (2000). Moka : Results. <http://web1.eng.coventry.ac.uk/moka/moka-results.htm>, lien validé en septembre 2011.
- [Molina et Bell, 1999] MOLINA, A. et BELL, R. (1999). Manufacturing model representation of a flexible manufacturing facility. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part B, Journal of Engineering Manufacture*, 213(3):225–246.
- [Morgan, 2002] MORGAN, J. (2002). *High performance product development : a systems approach to a lean product development process*. Thèse de doctorat, University of Michigan.
- [Nagalingam et Lin, 2008] NAGALINGAM, S. et LIN, G. (2008). Cim-still the solution for manufacturing industry. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 24(4):332–344.
- [Nagel *et al.*, 1991] NAGEL, R., DOVE, R., GOLDMAN, S. et PREISS, K. (1991). *21st Century Manufacturing Enterprise Strategy : An Industry Led View*. Lehigh University : Iacocca Institute.
- [Nanci et Espinasse, 1996] NANCI, D. et ESPINASSE, B. (1996). *Ingénierie des systèmes d'information, Merise, Deuxième génération*. Sybex, troisième édition.
- [Ngai, 2005] NGAI, E. (2005). Customer relationship management research (1992-2002) : An academic literature review and classification. *Marketing Intelligence & Planning*, 23(6):582–605.
- [Ngai et Chan, 2005] NGAI, E. et CHAN, E. (2005). Evaluation of knowledge management tools using ahp. *Expert Systems with Applications*, 29(4):889–899.
- [Noël et Roucoules, 2008] NOËL, F. et ROUCOULES, L. (2008). The ppo design model with respect to digital enterprise technologies among product life cycle. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 21(2):139–145.

- [Nuseibeh *et al.*, 2001] NUSEIBEH, B., EASTERBROOK, S. et RUSSO, A. (2001). Making inconsistency respectable in software development. *Journal of Systems and Software*, 58(2):171–180.
- [Oh *et al.*, 2001] OH, Y., HAN, S. et SUH, H. (2001). Mapping product structures between cad and pdm systems using uml. *Computer-Aided Design*, 33(7):521–529.
- [Oldham *et al.*, 1998] OLDHAM, K., KNEEBONE, S., CALLOT, M. et MURTON, A. (1998). Moka - a methodology and tools oriented to knowledge-based engineering applications. changing the ways we work. *Advances in Design and Manufacturing*, 8:198–207.
- [Orlicky, 1973] ORLICKY, J. (1973). Net change material requirements planning. *IBM Systems Journal*, 1:2–29.
- [Ou-Yang et Cheng, 2003] OU-YANG, C. et CHENG, M. (2003). Developing a pdm/mrp integration framework to evaluate the influence of engineering change on inventory scrap cost. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 22(3):161–174.
- [Ouertani et Gzara, 2008] OUERTANI, M. et GZARA, L. (2008). Tracking product specification dependencies in collaborative design for conflict management. *Computer-Aided Design*, 40(7): 828–837.
- [Ozkaya et Akin, 2007] OZKAYA, I. et AKIN, O. (2007). Tool support for computer-aided requirement traceability in architectural design : The case of designtrack. *Automation in Construction*, 16:674–684.
- [Panetto, 2006] PANETTO, H. (2006). Meta-modèles et modèles pour l'intégration et l'interopérabilité des applications d'entreprises de production. Habilitation à Diriger des Recherches, Université Henri Poincaré - Nancy I.
- [Patil *et al.*, 2005] PATIL, L., DUTTA, D. et SRIRAM, R. (2005). Ontology-based exchange of product data semantics. *Transaction on Automation Science and Engineering*, 2:213–225.
- [Paviot, 2010] PAVIOT, T. (2010). *Méthodologie de résolution des problèmes d'interopérabilité dans le domaine du PLM*. Thèse de doctorat, Ecole Centrale Paris.
- [Paviot *et al.*, 2011a] PAVIOT, T., CHEUTET, V. et LAMOURE, S. (2011a). A plcs framework for pdm / erp interoperability. *Int. J. Product Lifecycle Management*, 5(2/3/4):295–313.
- [Paviot *et al.*, 2011b] PAVIOT, T., LAMOURE, S. et CHEUTET, V. (2011b). A generic multicad / multipdm interoperability framework. *International Journal of Services Operations and Informatics*, 6(1/2):124–137.
- [Pierce, 1978] PIERCE, R. (1978). A requirements tracing tool. *In Software Quality Assurance Workshop on Functional and Performance Issues, ACM*, pages 53–60, New York - USA.
- [Rachuri *et al.*, 2008] RACHURI, S., SUBRAHMANIAN, E., BOURAS, A., FENVES, S., FOUFOU, S. et SRIRAM, R. (2008). Information sharing and exchange in the context of product lifecycle management : Role of standards. *Computer-Aided Design*, 40(7):789–800.
- [Raghothama et Shapiro, 2000] RAGHOTHAMA, S. et SHAPIRO, V. (2000). Consistent updates in dual representation systems. *Computer-Aided Design*, 32(8-9):463–477.
- [Ranganathan, 1950] RANGANATHAN, S. (1950). Classification, coding and machinery for search. <http://unesdoc.unesco.org/images/0013/001333/133325eo.pdf>, lien validé en septembre 2011.
- [Rebai *et al.*, 2011] REBAI, O., YVARIS, P., KHABOU MASMOUDI, N. et MASMOUDI, F. (2011). Constraint propagation on plm databases : Application to the design of automated production system. *In 8<sup>th</sup> International Conference on Product Lifecycle Management PLM'11*, Eindhoven - Pays-Bas.

- [Rios *et al.*, 2005] RIOS, J., JIMENEZ, J., PEREZ, J., VIZAN, A., MENENDEZ, J. et MAS, F. (2005). Kbe application for the design and manufacture of hsm fixtures. *Acta Psychologica*, 45(3):17–24.
- [Rose *et al.*, 2004] ROSE, B., GZARA, L. et LOMBARD, M. (2004). Towards a formalization of collaboration entities to manage conflicts appearing in cooperative product design. In S. TICHKIEWITCH, D. B., éditeur : *Methods and Tools for Cooperative and Integrated Design*. Kluwer Academic, The Netherlands.
- [Schonberger, 1982] SCHONBERGER, R. (1982). *Japanese manufacturing techniques : nine hidden lessons in simplicity*. Free Press, New York.
- [Schuh *et al.*, 2005] SCHUH, G., CANALES, F., KUBOSCH, A. et PAULUKUHN, L. (2005). Lean innovation : Less complexity. *Industrie Management*, pages 21–24.
- [Schwaber, 1995] SCHWABER, K. (1995). Scrum development process. In *Conference on Object-Oriented Programming Systems, Languages, and Applications Workshop on Business Object Design and Implementation*, pages 117–134.
- [Shah et Mantyla, 1995] SHAH, J. et MANTYLA, M. (1995). *Parametric and feature-based CAD/CAM*. Wiley-Interscience Publication, John Wiley Sons, Inc.
- [Shephard *et al.*, 2004] SHEPHARD, M., BEALL, M., O'BARA, R. et WEBSTER, B. (2004). Toward simulation-based design. *Finite Elements in Analysis and Design*, 40(12):1575–1598.
- [SIMULIA, 2007] SIMULIA (2007). The case for simulation lifecycle management - slm whitepaper. <http://www.simulia.com/products/slm.html>, lien validé en septembre 2011.
- [Song *et al.*, 2007] SONG, H., EYNARD, B., ROUCOULES, L., LAFON, P. et CHARLES, S. (2007). Beyond geometric cad system : implementation of step translator for multiple-views product modeller. *International Journal of Product Lifecycle Management*, 2(1):1–17.
- [Song *et al.*, 2009] SONG, I., YANG, J., JO, H. et CHOI, S. (2009). Development of a lightweight cae middleware for cae data exchange. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 22(9):823–835.
- [Stadtler et Kilger, 200] STADTLER, H. et KILGER, C. (200). *Supply chain management and advanced planning : concepts, models, software and case studies*. Springer Verlag, Berlin.
- [Steward, 1981] STEWARD, D. (1981). The design structure system : a method for managing the design of complex systems. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 28(3):71–74.
- [Szykman *et al.*, 2001] SZYKMAN, S., SRIRAM, R. et REGLI, W. (2001). The role of knowledge in next-generation product development systems. *ASME Journal of Computing and Information Science in Engineering*, 1(1):3–11.
- [Tamayo-Giraldo, 2011] TAMAYO-GIRALDO, S. (2011). *Exploitation de l'information traçabilité pour l'optimisation des choix en production*. Thèse de doctorat, Université Claude Bernard - Lyon 1.
- [Tarski, 1946] TARSKI, A. (1946). *Introduction to Logic and to the Methodology of Deductive Sciences*. Dover Publications, Inc., New York, seconde édition.
- [Tomiyaama *et al.*, 2009] TOMIYAMA, T., GU, P., JIN, Y., LUTTERS, D., KIND, C. et KIMURA, F. (2009). Design methodologies : Industrial and educational applications. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 58(2):543–565.

- [Tomiya et Yoshikawa, 1987] TOMIYAMA, T. et YOSHIKAWA, H. (1987). Extended general design theory. In YOSHIKAWA, H. et WARMAN, E., éditeurs : *Design Theory for CAD*, pages 95–130. eds. North-Holland, Amsterdam.
- [Tomovic et al., 2009] TOMOVIC, C., WALTON, A., NCUBE, L., GRIEVES, M., BIRTLES, B. et BEDNAR, B. (2009). Measuring the impact of product lifecycle management : Process plan, waste reduction and innovations conceptual frameworks, and logic model for developing metrics. In *Product Realization : A Comprehensive Approach*, pages 1–14. ed. Springer US.
- [Truptil, 2011] TRUPTIL, S. (2011). *Etude de l'approche de l'interopérabilité par médiation dans le cadre d'une dynamique de collaboration appliquée à la gestion en crise*. Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse.
- [Tursi, 2009] TURSI, A. (2009). *Approche basée sur les ontologies pour l'interopérabilité centrée sur le produit des systèmes d'entreprise de production*. Thèse de doctorat, Université Henri Poincaré, Nancy I et Politecnico di Bari, Italia.
- [Ueda et al., 2008] UEDA, K., TAKENAKA, T. et FUJITA, K. (2008). Toward value co-creation in manufacturing and servicing. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 1(1):53–58.
- [Ullman, 2001] ULLMAN, D. (2001). Robust decision making for engineering design. *Journal of Engineering Design*, 12(1):3–13.
- [Vaccaro et al., 2010] VACCARO, A., PARENTE, R. et VELOSO, F. (2010). Knowledge management tools, inter-organizational relationships, innovation and firm performance. *Technological Forecasting and Social Change*, 77(7):1076–1089.
- [Vasilakis et al., 2005] VASILAKIS, G., PITIKAKIS, M., VAVALIS, M. et HOUSTIS, C. (2005). A semantic-based search engine for 3d shapes : Design and early prototype implementation. In *2<sup>nd</sup> European Workshop on the Integration of Knowledge, Semantic and Digital Media Technologies*.
- [Vickoff, 2009] VICKOFF, J. (2009). *Méthode Agile - Les meilleures pratiques, Compréhension et mise en oeuvre*. Editions QI.
- [Vollman et al., 1992] VOLLMAN, T., BERRY, W. et CLAY WHYBARK, D. (1992). *Integrated Production and Inventory Management : Revitalizing the Manufacturing Enterprise*. Irwin Professional Pub.
- [Wang et al., 2012] WANG, H., JOHNSON, A. et BRACEWELL, R. (2012). The retrieval of structured design rationale for the re-use of design knowledge with an integrated representation. *Advanced Engineering Informatics*, 26(2):251–266.
- [Wang et Jin, 1999] WANG, K. et JIN, Y. (1999). Modelling dependencies in engineering design. In *ASME 1999 Design Engineering Technical Conferences*, Las Vegas - USA.
- [Weber et al., 2001] WEBER, R., AHA, D. et BECERRA-FERNANDES, I. (2001). Intelligent lessons learned systems. *Expert Systems with Application*, 17:17–34.
- [Wiederhold, 1992] WIEDERHOLD, G. (1992). Mediation in the architecture of future information systems. *IEEE computer*, 25(3):38–49.
- [Winkler et von Pilgrim, 2010] WINKLER, S. et VON PILGRIM, J. (2010). A survey of traceability in requirements engineering and model-driven development. *Software and Systems Modeling*, 9(4):529–565.

- [Womack et Jones, 1996] WOMACK, J. et JONES, D. (1996). *Lean thinking : banish waste and create wealth in your corporation*. Simon & Schuster, New York.
- [Womack et Jones, 2009] WOMACK, J. et JONES, D. (2009). *Système Lean : Penser l'entreprise au plus juste*. Pearson Education France, second édition.
- [Womack et al., 1990] WOMACK, J., JONES, D. et ROOS, D. (1990). *The machine that changed the world*. Maxwell MacMillan International, New York.
- [Wright, 1997] WRIGHT, I. (1997). A review of research into engineering change management : implication for product design. *Design Studies*, 18(1):34–42.
- [Xu et al., 2008] XU, H., XU, X. et HE, T. (2008). Research on transformation engineering bom into manufacturing bom based on bop. *Applied Mechanics and Materials*, 10(12):99–103.
- [Xu et Bernard, 2011] XU, Y. et BERNARD, A. (2011). Quantifying the value of knowledge within the context of product development. *Knowledge-Based Systems*, 24(1):166–175.
- [Zhou et al., 2007] ZHOU, M., REN, J., QI, J., NIU, D. et LI, G. (2007). Emerging technologies in knowledge discovery and data mining. *Lecture Notes in Computer Science*, 4819:87–98.

## Résumé

Dans un contexte de la révolution de l'information numérique, les entreprises doivent proposer dans un temps court un système innovant de qualité et à moindre coût, et ce défi ne peut être relevé qu'avec des acteurs qui soient motivés et qui collaborent ensemble. Les présents travaux de recherche visent donc à faciliter cette collaboration et le travail à valeur ajoutée, en contribuant à la **continuité des flux d'informations et de connaissances**. Au sein du LISMMMA, nous avons décliné ces travaux sur trois axes. Le premier axe vise à assurer les flux par l'**interopérabilité des systèmes d'information** par la médiation et l'unification à base de standards. Le deuxième axe se focalise sur la **gestion des connaissances** permettant aux flux d'être compris et interprétés par les acteurs. Enfin, nous avons proposé l'utilisation des ontologies pour assurer la **cohérence des informations** transitant dans les flux. Ces travaux ont donné lieu au développement de démonstrateurs, testés sur des cas industriels et/ou in-situ dans une entreprise.

### *Mots-clés*

Continuité, interopérabilité, système d'information, standard, gestion des connaissances, ontologie, cohérence, Usine Numérique, PLM.

## Abstract

In the context of digital information revolution, the companies should propose in a short time an innovative system with good quality and low cost, and this challenge can be accepted only with actors that are motivated and collaborate together. These research works aim to facilitate this collaboration and added-value work, by contributing to the **continuity of information and knowledge flows**. Inside the LISMMMA, we focus our research on three axes. The first one aims to ensure the flow by the **interoperability of information systems** with mediation and standard-based unification. The second axe focus on the **knowledge management** allowing the flows to be understood and interpreted by the actors. Finally, we propose the use of ontologies to ensure **consistency of information** that passes through the flows. In these research works, we develop some demonstrators, tested on industrial use-cases and/or in-situ in companies.

### *Keywords*

Continuity, interoperability, information system, standard, knowledge management, ontology, consistency, Digital Factory, PLM.