



**HAL**  
open science

# Meta-modèles et modèles pour l'intégration et l'interopérabilité des applications d'entreprises de production

Hervé Panetto

► **To cite this version:**

Hervé Panetto. Meta-modèles et modèles pour l'intégration et l'interopérabilité des applications d'entreprises de production. domain\_stic.inge. Université Henri Poincaré - Nancy I, 2006. tel-00119423

**HAL Id: tel-00119423**

**<https://theses.hal.science/tel-00119423>**

Submitted on 9 Dec 2006

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

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



**CRAN**

UMR 7039

NANCY-UNIVERSITE

CNRS



Ecole Supérieure d'Informatique et Applications de Lorraine  
Ecole Doctorale IAEM Lorraine  
DFD Automatique

# HABILITATION A DIRIGER DES RECHERCHES

Université Henri Poincaré – Nancy I  
(Spécialité Génie Informatique)

Présentée par

**Hervé PANETTO**

Maître de Conférences  
Docteur de l'Université Henri Poincaré – Nancy I

---

## Meta-modèles et modèles pour l'intégration et l'interopérabilité des applications d'entreprises de production

---

Soutenue publiquement le 4 décembre 2006 devant le jury composé de :

**RAPPORTEURS :** PR. J. P. BOURRIERES    UNIVERSITE BORDEAUX 1  
PR. H. PINGAUD    ENSTIMAC  
PR. A. VILLA    POLITECNICO DI TORINO, ITALIE

**EXAMINATEURS :** PR. F. B. VERNADAT    UNIVERSITE DE METZ - PRESIDENT DU JURY  
PR. A. MOLINA    MONTERREY INSTITUTE OF TECHNOLOGY, MEXIQUE  
PR. M. GARETTI    POLITECNICO DI MILANO, ITALIE  
PR. N. BOUDJLIDA    UNIVERSITE HENRI POINCARE – NANCY I  
PR. G. MOREL    UNIVERSITE HENRI POINCARE – NANCY I



*Paraphrasant Herbert A. Simon « Modéliser, c'est raisonner »,  
notre conviction dans cette HDR est que*

*Modéliser, c'est raisonner, pour mieux interopérer*

*A ma famille*



## Remerciements

---

Je tiens tout d'abord à remercier tout particulièrement Monsieur Gérard Morel, Professeur à l'Université Henri Poincaré Nancy I, Directeur adjoint du CRAN et responsable du projet SCP, qui, pendant ma thèse et ensuite durant toutes ces années passées dans son équipe de recherche, a toujours su communiquer sa passion de la recherche et m'a soutenu et accompagné, lors de nos innombrables discussions, et argumentations contradictoires, dans l'évolution et la maturation de ma thématique de recherche. Qu'il trouve ici ma profonde reconnaissance.

Je remercie aussi Monsieur Jean-Paul Bourrières, Professeur à l'Université de Bordeaux 1, Directeur adjoint du LAPS UMR 5131, pour l'honneur qu'il m'a fait d'être rapporteur de ce mémoire d'habilitation.

Je tiens particulièrement à remercier Monsieur Hervé Pingaud, Professeur à l'ENSTIMAC, pour avoir accepté d'être rapporteur de cette habilitation et pour ses commentaires éclairés sur ce mémoire.

Je remercie tout aussi vivement Monsieur Agostino Villa, Professeur au Politecnico di Torino, en Italie, pour avoir accepté de rapporter sur mon travail de recherche.

Je tiens particulièrement à remercier Monsieur François Vernadat, Professeur à l'Université de Metz, administrateur à la Commission Européenne, Unité « Interoperability, Architecture and Methods » de la DG DIGIT, pour accepter d'examiner ce mémoire, et pour tous ses conseils et recommandations qui m'ont toujours permis d'apporter un éclaircissement sur ma recherche.

Ma reconnaissance va bien sûr à Monsieur Arturo Molina, Professeur au Tecnológico de Monterrey, Mexico, Directeur de la División de Ingeniería y Arquitectura, Président du TC 5.3 « Enterprise Integration and Networking » de l'IFAC, qui m'a fait l'honneur d'examiner ce travail et de participer au jury.

Je remercie aussi Monsieur Marco Garetti, Professeur au Politecnico di Milano, en Italie, et Responsable du LIG (Laboratorio in Ingegneria Gestionale), qui a accepté d'examiner ce mémoire. Je lui suis pleinement reconnaissant pour sa participation à ce jury.

Mes remerciements vont particulièrement à Monsieur Nacer Boudjlida, Professeur à l'Université Henri Poincaré Nancy I, qui a accepté d'examiner ce mémoire. Je lui suis reconnaissant pour tous les conseils scientifiques avisés qu'il a sus me communiquer durant toutes nos collaborations passées qui, je l'espère, continueront encore longtemps.

Je n'oublierai pas de remercier aussi tous mes collègues et amis étrangers (Giuseppe, Michaël, et beaucoup d'autres), rencontrés dans le cadre de divers projets, pour les discussions et l'apport de connaissances qu'il en résulte.

Enfin, je souhaite tout spécialement remercier tous mes collègues du CRAN/GSIP et tout particulièrement ceux qui me sont proches (Benoit, Jean-François, et tous les autres) pour les nombreuses discussions et leur amitié qui permettent de travailler (et de chercher) dans une ambiance conviviale.



## Préambule

---

Le présent document décrit mes activités universitaires d'enseignant/chercheur depuis ma soutenance de thèse en 1991 effectuée au CRAN (Centre de Recherche en Automatique de Nancy, UMR 7039) et mon affectation sur le poste n°1090 de l'ENSTIB (Ecole Nationale Supérieure des Technologies et Industries du Bois) puis ma mutation interne en 2002 sur le poste n°0618 de l'ESIAL (Ecole Supérieure d'Informatique et Applications de Lorraine) de l'Université Henri Poincaré – Nancy I.

Un curriculum vitae assez concis présente, en début de document, une synthèse de mes activités de recherche et d'administration.

Après avoir développé, dans la poursuite de mes travaux de thèse [PAN1], une activité de recherche dans le domaine du Génie Automatique par la mise en coopération d'outils/méthodes de spécification et de conception de la partie commande des automatismes (Environnement SPEX [PI1]), j'ai orienté ma recherche sur la problématique de forte interaction du système d'information d'entreprise avec le niveau opérationnel des systèmes de production.

Au sens de l'évolution de la productique, le cadre général de nos travaux concerne les entreprises de production de biens et de services. Nous avons ainsi orienté notre activité, depuis 1999, afin de répondre à la problématique scientifique concernant la modélisation des systèmes d'information d'atelier appliquée aux processus d'entreprise, pour assurer une cohérence entre les informations manipulées au niveau entreprise et leur utilisation dans le cadre d'un système de production. Cette problématique repose sur le constat que la personnalisation de la relation Consommateur / Producteur / Fournisseur accroît la **variabilité des produits** dont il faut garantir individuellement la traçabilité tout au long de leur cycle de vie. Cette variabilité des produits requiert de nouvelles **architectures de systèmes adaptatifs de production** favorisant l'adaptabilité et la réactivité des organisations de production à des organisations d'entreprise en réseaux devant fournir à temps, et à **qualité** constante, une quantité variable d'un produit fabriqué selon des procédés différents sur des sites distants. Cette **adaptabilité** des architectures des systèmes de production au produit pose le problème de l'**interopérabilité** des divers systèmes matériels et logiciels de plus en plus nombreux et hétérogènes qui embarquent des technologies de l'Information et de la Communication au plus près du procédé et du produit en interface avec l'ensemble des systèmes d'Entreprise.

En effet, au niveau global de l'entreprise, des solutions progiciels (ERP, SCM) assurent l'intégration des processus d'entreprise. Au niveau de l'atelier, l'émergence de nouveaux produits de gestion technique de la production (SCE, MES) permet de collecter en temps réel les informations liées à la production et à la qualité afin de mieux maîtriser cette production. Des besoins se font aussi sentir dans le domaine de la personnalisation et de l'extraction d'information, au travers de services, pour la gestion intégrée de la documentation technique. Les travaux de recherche menés dans ce domaine mettent principalement l'accent sur les technologies logicielles et



les réseaux de communication nécessaires à son exploitation. **Mais ils souffrent d'une nécessaire formalisation de leur modèle assurant leur interopérabilité.**

Par rapport à cette formalisation des modèles pour l'interopérabilité des applications, des normes sont actuellement en développement pour assurer la standardisation de la représentation des données et des processus de production ou d'entreprise :

- les processus d'entreprise (CEN ENV 12204, ISO 19440)
- les données concernant les produits (ISO 10303 STEP)
- les données concernant les processus de production (IEC 62264, EAI)
- les données concernant la conduite de processus (MESA, PRM)

Or, ces langages ne proposent que des solutions syntaxiques sans tenir compte de la sémantique de ces échanges. Ils souffrent ainsi d'un manque de formalisation qui assurerait une cohérence entre les informations échangées ou partagées par l'ensemble des processus d'entreprise. Notre approche vise à formaliser les savoir et savoir-faire d'ingénierie des systèmes d'information, restreints au domaine de la modélisation des processus manufacturiers afin d'assurer **l'intégration et l'interopérabilité des Applications d'Entreprises**, dans un contexte de production de biens et de services tout en assurant une relation sémantique entre les modèles issus du domaine de la gestion d'entreprise (« Business ») et ceux du domaine de la production (« Manufacturing »).

Cette modélisation s'abstrait des technologies logicielles mises en œuvre et met l'accent sur les relations sémantiques des objets produits ou consommés. Elle vise donc à augmenter l'efficacité des processus de production en mettant à profit la modélisation de l'échange d'information afin de remonter ces informations vers les décideurs, d'être plus réactif et de mettre en place une stratégie de production agile. La poursuite des travaux issus des projets SMART-fm [PE5] et UEML [PE6] a pour finalité industrielle l'intégration des Systèmes de Contrôle du Procédé par le Produit dans le Système Entreprise (B2M : Business To Manufacturing) tout au long de la chaîne de production (Fourniture, Achat, Production, Vente, Consommation) et du cycle de vie du produit dans un contexte de gestion du cycle de vie du produit (PLM : Product Lifecycle Management).

Mon action de recherche repose ainsi sur la meta-modélisation des modèles de processus manufacturiers sur la base du langage de modélisation UML et de ses mécanismes d'extensibilité. Dans ce cadre, notre participation active au Réseau d'Excellence européen INTEROP [PE7] nous permet de conforter nos résultats dans un contexte international. L'un des objectifs de nos travaux dans ce réseau est de formaliser les concepts théoriques du domaine de l'interopérabilité des applications ainsi que la définition d'ontologies du domaine assurant une formalisation sémantique des modèles, par une dérivation et une adaptation à ce contexte des recherches internationales menées dans les domaines de la modélisation, les ontologies et les architectures d'exécution (Fox, *et al.*, 1996). Dans cet objectif, la modélisation d'entreprise concerne plus particulièrement l'analyse et la formalisation des modèles de processus d'entreprise (en réseau ou non) afin d'identifier les besoins d'interopérabilité. Les ontologies apportent la formalisation des connaissances et de la sémantique de ces modèles afin de s'assurer une compréhension communes des modèles interopérables. Les architectures d'exécution offrent les mécanismes et les interfaces standardisées nécessaires à la mise en œuvre de cette interopérabilité

des applications dans un contexte de Gestion du cycle de vie des produits (PLM : Product Life Cycle Management), tels qu'initiés, en codirection avec M. le Prof. Gérard Morel, dans les thèses de **Sergio Terzi** [TH1] afin de répondre à une problématique de traçabilité des produits et de **Salah Baïna** [TH2] pour assurer une synchronisation de l'information, tout au long du cycle de vie des produits.

Afin de compléter ces travaux sur l'interopérabilité entre les niveaux entreprise et production, le Post-Doctorat de **Petia Wohed** [POD1] a eu pour objet, dans le cadre de nos contributions au REX INTEROP NoE, l'étude et la formalisation d'une extension du langage unifié de modélisation UEMML, sur la base de l'ontologie générique BWW (Bunger, Wand et Weber) proposée par (Wand and Weber, 1990 ; 1995). L'objectif est de favoriser une interopérabilité des applications de niveau entreprise dans le cadre de réseaux d'entreprises ou de collaborations d'entreprises. En complément à cette recherche, la thèse en cours en cotutelle avec le Politecnico di Bari (Italie) de **Angela Tursi** [TH3], va permettre d'étudier, par un processus de meta-modélisation, l'interopérabilité centrée sur le produit pour l'intégration des applications d'entreprises de production, sur la base du standard d'échange de modèles de données produits STEP (ISO 10303). Ce travail de recherche tiendra compte des données techniques des produits, éléments centraux et communs à toutes applications d'entreprises de production pour définir la vue données techniques d'une ontologie « Produit ».

En complément à cette activité de recherche, ce contexte de R&D nous a permis aussi relativement à notre fonction d'enseignant, de transférer le résultat de nos recherches vers nos activités pédagogiques dans l'objectif de former des ingénieurs en adéquation étroite avec les préoccupations du milieu industriel. L'effectivité de ce transfert sur la formation est présentée succinctement dans la fin de ce document.

Finalement le document est complété en annexe par cinq publications internationales reflétant la qualité scientifique de nos travaux de recherche.



## Sommaire

---

|   |           |
|---|-----------|
| <b>CURRICULUM VITAE.....</b>  | <b>1</b>  |
| 1. ETAT CIVIL.....  | 1         |
| 2. FORMATION UNIVERSITAIRE .....  | 1         |
| 3. SITUATION ACTUELLE.....  | 2         |
| 4. CARRIERE.....  | 2         |
| 5. SYNTHESE GENERALE DES ACTIVITES DE RECHERCHE ET D'ADMINISTRATION DE LA RECHERCHE.....              | 3         |
| 6. SYNTHESE GENERALE DES ACTIVITES D'ADMINISTRATION DE L'ENSEIGNEMENT.....                            | 5         |
| <b>INTRODUCTION.....</b>  | <b>7</b>  |
| <b>I DE LA CARACTERISATION DE L'INTEROPERABILITE.....</b>   | <b>11</b> |
| 1. DEFINITIONS.....   | 11        |
| 1.1 <i>Intégration d'entreprise</i> .....   | 11        |
| 1.2 <i>Interopérabilité des systèmes</i> .....  | 11        |
| 2. INTRODUCTION .....   | 12        |
| 3. CADRES DE MODELISATION POUR L'INTEROPERABILITE .....   | 12        |
| 3.1 <i>Introduction</i> .....   | 12        |
| 3.2 <i>Niveaux d'interopérabilité</i> .....   | 13        |
| 3.3 <i>Architecture dirigée par les modèles (MDA)</i> .....   | 18        |
| 3.4 <i>Cadre de modélisation Zachman</i> .....  | 21        |
| 3.5 <i>Synthèse</i> .....   | 22        |
| 4. UNE TENTATIVE DE CARACTERISATION DE L'INTEROPERABILITE .....                                       | 23        |
| <b>II META-MODELES ET MODELES POUR L'INTEROPERABILITE .....</b>                                       | <b>27</b> |
| 1. INTRODUCTION .....   | 27        |
| 2. META-MODELES ET MODELES DES DONNEES DE PRODUITS .....  | 28        |
| 2.1 <i>Contexte</i> .....   | 28        |
| 2.2 <i>Standard pour l'échange de modèles de données produit</i> .....                                | 28        |
| 2.3 <i>Interopérabilité B2M (Business To Manufacturing) pour la traçabilité des produits</i> .....    | 29        |
| 2.4 <i>Synthèse</i> .....   | 33        |
| 3. META-MODELES ET MODELES DE PROCESSUS .....   | 34        |
| 3.1 <i>Contexte</i> .....   | 34        |
| 3.2 <i>Langage Unifié de Modélisation d'Entreprise (UEML)</i> .....                                   | 36        |
| 3.3 <i>Approche holonique pour l'interopérabilité B2M (Business To Manufacturing)</i> .....           | 50        |
| 3.4 <i>Synthèse</i> .....   | 53        |
| 4. SYNTHESE GENERALE .....  | 54        |
| <b>III PROGRAMME DE RECHERCHE EN INTEGRATION ET INTEROPERABILITE DES SYSTEMES D'ENTREPRISES .....</b> | <b>55</b> |
| 1. CONTEXTE ET ENJEUX .....   | 55        |
| 2. OBJECTIF DE RECHERCHE .....  | 58        |
| 3. ACTIONS DE RECHERCHE ET PARTENARIATS .....   | 61        |
| 4. METHODE DE TRAVAIL .....   | 63        |
| 5. JUSTIFICATIF .....   | 63        |
| <b>IV ACTIVITES D'ENSEIGNEMENT ET DE SON ADMINISTRATION.....</b>                                      | <b>65</b> |
| 1. FORMATION INITIALE ET CONTINUE.....  | 65        |
| 2. R&D EN GENIE PEDAGOGIQUE.....  | 69        |
| 3. PROJET PEDAGOGIQUE.....  | 71        |
| <b>V CONCLUSION GENERALE.....</b>   | <b>73</b> |

|             |   |            |
|-------------|---|------------|
| <b>VI</b>   | <b>PRODUCTION SCIENTIFIQUE.....</b>   | <b>75</b>  |
| 1.          | COEDITEUR D'EDITIONS SPECIALES DE JOURNAUX OU D'ACTES .....                               | 75         |
| 2.          | REVUES AVEC COMITE DE LECTURE.....  | 76         |
| 3.          | PARTICIPATION A DES OUVRAGES .....  | 76         |
| 4.          | CONFERENCES ET WORKSHOPS AVEC COMITE DE LECTURE ET ACTES .....                            | 77         |
| 5.          | MANIFESTATIONS AVEC OU SANS COMITE DE LECTURE ET A DIFFUSION RESTREINTE .....             | 80         |
| <b>VII</b>  | <b>FORMATION PAR LA RECHERCHE.....</b>  | <b>83</b>  |
| 1.          | CODIRECTION DE THESES.....  | 83         |
| 2.          | CODIRECTION DE POST-DOCTORANT.....  | 84         |
| 3.          | INVITATION A DES JURY DE THÈSE .....  | 84         |
| 4.          | CODIRECTION DE STAGIAIRES DE DEA ET DE MASTER RECHERCHE .....                             | 84         |
| 5.          | ACCUEIL D'ETUDIANTS ETRANGERS.....  | 85         |
| <b>VIII</b> | <b>RAYONNEMENT SCIENTIFIQUE .....</b>   | <b>87</b>  |
| 1.          | ANIMATION SCIENTIFIQUE ET PARTICIPATION A L'ADMINISTRATION DE LA RECHERCHE .....          | 87         |
| 2.          | ORGANISATION ET INVITATIONS DANS DES MANIFESTATIONS AVEC COMITE DE LECTURE ET ACTES ..... | 88         |
| 3.          | CRITIQUES SCIENTIFIQUES .....   | 91         |
| 4.          | CONSULTANCE – EXPERTISE .....   | 92         |
| <b>IX</b>   | <b>VALORISATION.....</b>  | <b>93</b>  |
| 1.          | PROJETS EUROPEENS ET CONTRATS DE RECHERCHE.....   | 93         |
| 2.          | PROTOCOLES DE COLLABORATION ET DE RECHERCHE .....   | 97         |
| 3.          | SEJOUR DE RECHERCHE A L'ETRANGER .....  | 98         |
|             | <b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....</b>   | <b>99</b>  |
|             | <b>ACRONYMES .....</b>  | <b>105</b> |
|             | <b>LISTE DES FIGURES .....</b>  | <b>106</b> |
|             | <b>LISTE DES TABLEAUX.....</b>  | <b>107</b> |
|             | <b>ANNEXES : PUBLICATIONS INTERNATIONALES .....</b>                                       | <b>109</b> |

## Curriculum Vitae

---

### 1. ETAT CIVIL

---

**PANETTO Hervé**

Né le 7 avril 1963 à Nancy, 2 enfants.

Nationalité française.

Adresse professionnelle

CRAN UMR 7039, Nancy-Université, CNRS

Faculté des sciences

BP 239

54506 VANDOEUVRE

Tel : +33 (0) 3 83 68 44 26

Mobile : +33 (0) 6 61 62 61 75

Fax : +33 (0) 3 83 68 44 59

E-mail : Herve.Panetto@cran.uhp-nancy.fr

### 2. FORMATION UNIVERSITAIRE

---

- **THESE de l'Université Henri Poincaré Nancy I en Production Automatisée, en janvier 1991**  
"Une contribution au Génie Automatique : le prototypage des Machines et Systèmes Automatisés de Production".  
**Directeur de Recherche : Pr. M. VERON**  
**Directeur de Recherche Associé : G. MOREL**  
**Responsable de la Recherche : P. LHOSTE**  
**Jury : Pr. R. HUSSON (Président), Pr. F. PRUNET, Pr. J.F. AUBRY (Rapporteurs), Pr. M. VERON, Pr. G. VILLERMAIN LECOLIER, F. CORBIER, P. LHOSTE (Examineurs)**
- **DEA en Production Automatisée à l'Université Henri Poincaré NANCY I en 1987**  
"FAO d'équipements de production automatisée (partie commande) : approche Grafcet et approche Objet".  
**Responsables de la Recherche : G. MOREL, F. MUNERATO**
- **MST Automatique et Commande Numérique, Faculté des Sciences, Université de Nancy I, juin 1986.**
- **DEUG A Sciences des Structures et de la Matière, Faculté des Sciences, Université de Nancy I, juin 1984.**

### 3. SITUATION ACTUELLE

---

- **Maître de Conférences** au 7<sup>ème</sup> échelon de la classe normale, à l'Université Henri Poincaré NANCY I (emploi n°0618), et en poste à l'Ecole Supérieure d'Informatique et Applications de Lorraine (ESIAL) dirigée par Monsieur le Professeur André SCHAFF.
- Rattaché à la **61<sup>ème</sup> section** du CNU.
  
- PEDR depuis le 1<sup>er</sup> octobre 2005
- Congé pour Recherche (CRCT) du 1<sup>er</sup> février 2006 au 31 juillet 2006
  
- **Chercheur au :**
  - . **Centre de Recherche en Automatique de NANCY**, Unité Mixte de Recherche UMR 7039, Nancy-Université, CNRS dirigée par Monsieur le Professeur Alain RICHARD
  - . Thème **SYMPA (Systèmes de Production Ambiants)**
  - . Projet **SCP (Systèmes Contrôlés par le Produit)**

### 4. CARRIERE

---

- 2002     Maître de Conférences - UHP Nancy I  
(Emploi 61<sup>ème</sup> section du CNU n°0618)  
ESIAL (Ecole Supérieure d'Informatique et Applications de Lorraine)
- 1991     Maître de Conférences - UHP Nancy I  
(Emploi 61<sup>ème</sup> section du CNU n° 1090)  
ENSTIB (Ecole Nationale Supérieure des Technologies et Industries du Bois)
- 1990/91   Ingénieur de Recherche sur contrat avec Renault (Département Recherche; responsable : P. Alanche) pour le cofinancement de la thèse.
- 1989/90   Attaché Temporaire d'Enseignement et de Recherche - UHP Nancy I  
UFR STMIA - Faculté des Sciences
- 1988/89   Service Militaire comme Volontaire Formateur Informatique
- 1987/88   Assistant Associé - UHP Nancy I  
UFR STMIA - Faculté des Sciences

## 5. SYNTHÈSE GÉNÉRALE DES ACTIVITÉS DE RECHERCHE ET D'ADMINISTRATION DE LA RECHERCHE

---

### Production scientifique, Encadrement doctoral et de recherche

|  |              |
|--|--------------|
| CO-ÉDITEUR D'ACTES DE CONFÉRENCES OU DE REVUES           | <b>7</b>     |
| REVUES INTERNATIONALES AVEC COMITÉ DE LECTURE            | <b>8</b>     |
| REVUES NATIONALES AVEC COMITÉ DE LECTURE                 | <b>4</b>     |
| PARTICIPATIONS À DES OUVRAGES                            | <b>1</b>     |
| COLLOQUES INTERNATIONAUX AVEC COMITÉ DE LECTURE ET ACTES | <b>38</b>    |
| COLLOQUES NATIONAUX AVEC COMITÉ DE LECTURE ET ACTES      | <b>3</b>     |
| COLLOQUES SANS COMITÉ DE LECTURE AVEC OU SANS ACTES      | <b>15</b>    |
| RAPPORTS DE CONTRATS DE PROJETS ÉVALUÉS                  | <b>25</b>    |
| RAPPORTS DE CONTRATS INDUSTRIELS                         | <b>9</b>     |
| DOCTORATS D'UNIVERSITÉ                                   | <b>2 + 1</b> |
| DIPLOME UNIVERSITAIRE DE RECHERCHE POST-DOCTORALE        | <b>1</b>     |
| DIPLOMES D'ÉTUDES APPROFONDIES ET MASTERS                | <b>9</b>     |

- Co-publications avec les doctorants : revues (2) ; communications (11) ; rapports de contrat (5).
- Co-publications avec DEA ou Master Recherche : communications (6).
- Co-publications avec chercheurs extérieurs au CRAN : revues et ouvrages (5) ; communications (16) ; rapports de contrat (25).

### Participations à l'administration de la recherche

- Membre élu suppléant de la commission de spécialiste 61° section de l'Université Henri Poincaré Nancy I section depuis 2004
- Membre nommé titulaire de la commission de spécialiste mixte 31°, 60°, 61°, 62° et 63° sections de l'Université Nancy II depuis 2001
- Membre nommé suppléant de la commission de spécialiste 61° et 63° sections de l'Université Metz de 2001 à 2004

### Animation scientifique

- Niveau National :
  - Participation au Groupe de Travail « Modélisation en Entreprise » du Groupement pour la Recherche en Productique (3 communications orales)
  - Participation au GDR MACS Pole STP GT « Entreprise Communicante et Interopérabilité » (ECI) (commun avec le GDR I3) depuis sa création en 2003 (2 communications orales).
  - Expert nommé à l'AFNOR, Comité de normalisation « Données Scientifiques, Techniques et Industrielles » depuis 1998
  - Expert nommé à l'AFNOR, Comité de normalisation « Communication et architecture des systèmes industriels » depuis 2000



- Niveau Européen et International

- Vice-Président du TC 5.3 « Enterprise Integration and Networking » de l'IFAC de 2003 à 2005 et renouvellement de 2005 à 2008
- Membre actif, représentant français, de l'ISO TC184/SC4 « Industrial Automation systems and Integration/ Industrial Data » depuis 1998
- Membre actif, représentant français, de l'ISO TC184/SC5 « Industrial Automation systems and Integration/ Architecture, communications and integration frameworks » depuis 2000
- Membre actif, représentant français, du groupe de travail commun ISO/CEN JWG15 « Enterprise-control systems integration »
- Coordinateur de la participation française du réseau FunStep-IG ESPRIT EP 29711 "standard for product data exchange for the furniture industry" (10/1998-04/2000)
- Coordinateur de la participation française du réseau Cofurn IST-2000-25183 Thematic Network "Co-operation for consensus, standardisation and interoperability to support e-com services in the FURNiture industries sector" (12/2000-11/2002)
- Responsable du partenariat de l'UHP/ENSTIB/CRAN dans le cadre du projet européen IST-ECOM-IS FSAP-DIS « funStep-Application Protocol Development Project » (03/2002-02/2004)
- Représentant du CRAN à la Task Force IFAC/IFIP "Architectures for Enterprise Integration"
- Responsable de la représentation française dans le projet IMS Smart-fm Thematic Network IMS-2001-00014 "A standards-compliant framework to support complete integrated product life-cycle information management and electronic commerce for the furniture manufacturing (fm) industry, in the advent of the smart enterprises" (05/2002-04/2005)
- Participation, en collaboration avec l'INRIA Lorraine, au projet UEML IST-2001-34229 Thematic Network "Unified Enterprise Modelling Language" (03/2002-05/2003).
- Responsable scientifique pour le CRAN et Core-member du réseau d'excellence européen NoE INTEROP IST 508011 « Interoperability Research for Networked Enterprises Applications and Software » (11/2003-10/2006). Membre du comité de pilotage. Animation scientifique du workpackage 11. Membre du comité de coordination avec le projet européen IST ATHENA IP.

## Rayonnement scientifique

|  |    |
|--|----|
| CONFERENCES INVITEES   | 7  |
| PARTICIPATIONS A L'ORGANISATION DE CONFERENCES   | 5  |
| ORGANISATIONS OU CO-ORGANISATIONS DE WORKSHOPS   | 6  |
| RESPONSABILITES DANS DES PROJETS EUROPEENS   | 7  |
| MEMBRE DE COMITES INTERNATIONAUX DE PROGRAMME  | 28 |
| ORGANISATIONS DE SESSIONS OU TRACKS INVITES  | 6  |
| EVALUATIONS DE PAPIERS POUR DES REVUES INTERNATIONALES (EAIA, IJEM, CII, JSCI, CEP, JESA, IJAM, IJNVO, JIM, IJCIM) | 17 |
| RELECTEUR POUR DES CONFERENCES INTERNATIONALES   | 15 |
| EXPERTISES AUPRES D'ORGANISMES DE RECHERCHE OU DANS DES PROJETS  | 1  |
| INVITATIONS A DES JURYS DE THESE   | 1  |

## 6. SYNTHESE GENERALE DES ACTIVITES D'ADMINISTRATION DE L'ENSEIGNEMENT

---

- Responsable pédagogique de la spécialisation 2ème et 3ème année SIE (Systèmes d'Information d'Entreprises) de l'ESIAL et responsable de plusieurs modules d'enseignement depuis 2002
- Responsable de la mise en place des Nouvelles Technologies de l'Information et des Télécommunications (NTIC) à l'ENSTIB de 1999 à 2002
- Responsabilité pédagogique de l'orientation productique de 2ème et 3ème année de l'ENSTIB de 1996 à 1998
- Direction pédagogique du DESS "Techniques du Bois" de 1991 à 1995
- Membre élu au Conseil d'administration de l'ENSTIB de 1996 à 2001
- Membre élu au Conseil d'administration de l'ESIAL depuis 2004
- Membre nommé à la commission de choix de l'ESIAL depuis 2004
- Responsable pédagogique de Plans Académiques de Formation de 1992 à 1994
- Responsable pédagogique de 4 Universités d'été de 1992 à 1994
- Responsable d'un Programme de formation européenne COMETT "Automation Engineering", 16 - 20 mai 1993 – Nancy
- Responsable d'un programme d'échange SOCRATES/ERASMUS entre l'UHP Nancy I et le Politecnico di Bari (IT) depuis 2005.
- Responsable d'un programme d'échange SOCRATES/ERASMUS entre l'UHP Nancy I et l'Université de Turin (IT) depuis 2004.
- Responsable d'un programme d'échange SOCRATES/ERASMUS entre l'UHP Nancy I et le Politecnico di Milano (IT) depuis 2002.
- Responsable d'un programme d'échange SOCRATES/ERASMUS entre l'UHP Nancy I et l'Université de Cracow (PL) depuis 1999.



## Introduction

Les travaux de recherche présentés dans ce mémoire intitulé "Meta-modèles et modèles pour l'intégration et l'interopérabilité des applications d'entreprises de production" ont été effectués au Centre de Recherche en Automatique de Nancy (CRAN), dirigé par le Professeur Alain Richard. Le CRAN, Unité Mixte de Recherche 7039 du Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), de l'Université Henri Poincaré Nancy I (UHP) et de l'Institut Polytechnique de Lorraine (INPL) développe, dans le cadre du quadriennal 2004-2007, cinq thèmes de recherche (Figure 1) :

- Sureté de fonctionnement et diagnostic des systèmes (SURFDIAG),
- Automatique : Commande et Observation des Systèmes (ACOS),
- Identification, Restauration, Images et Signaux (IRIS),
- Ingénierie pour la santé (IPS),
- Systèmes de production Ambiants (SYMPA).

Le CRAN reconnaît aussi une équipe de recherche technologique (ERT) dont la thématique porte sur la **TRAC**abilité et l'impact des nouvelles technologies d'Identification et de contrôle des produits sur les modes de gestion des chaînes **LOG**istiques des filières fibres (TRACILOG).

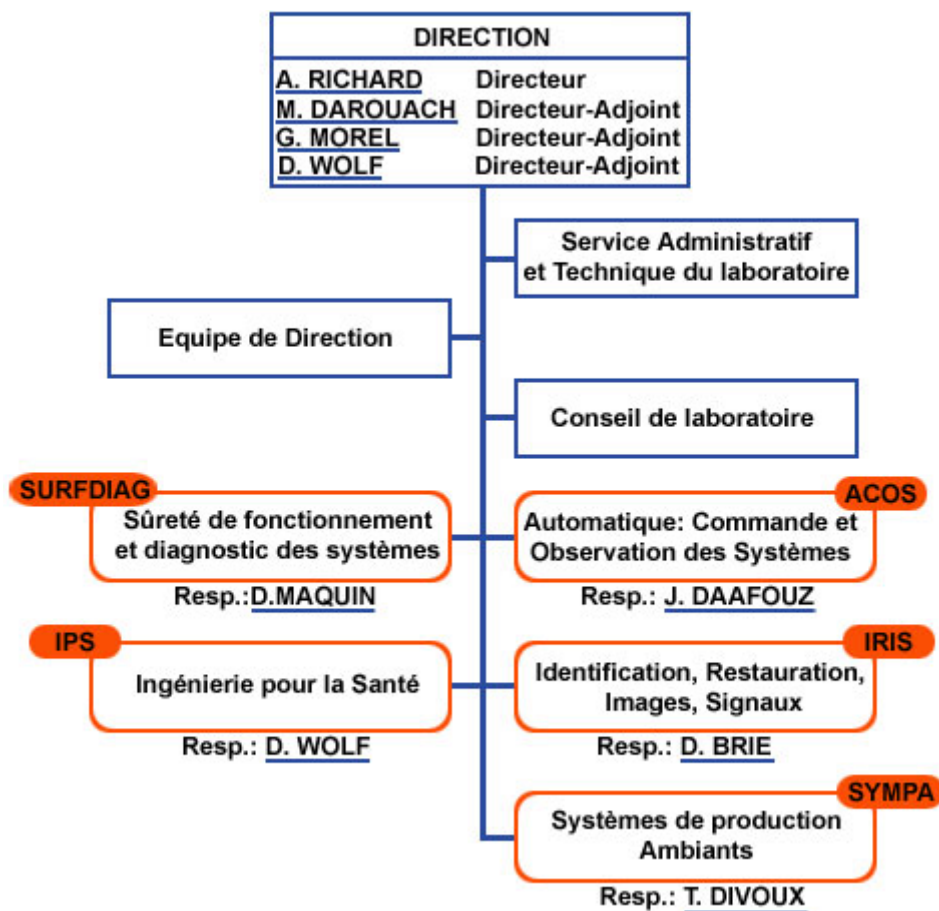


Figure 1 : Organisation thématique du CRAN  
(figure empruntée au serveur web du CRAN : <http://www.cran.uhp-nancy.fr>)

En regard des problématiques développées dans ces 5 thèmes, nos travaux s'intègrent dans le thème SYMPA et plus précisément dans le projet « Systèmes Contrôlés par le Produit », associés à une recherche technologique au sein de la thématique de l'équipe de recherche technologique TRACILOG.

Cette double implication se justifie par la nécessité de mener en symbiose des recherches appliquées et technologiques, relativement d'une part, à la formalisation du processus d'interopérabilité des applications d'entreprises, immergées dans leur environnement ainsi que des modèles qui en sont issus [TH2], et d'autre part, aux applications de ces processus d'interopérabilité et la définition de modèles normatifs par une adaptation et une extension des standards existants dans le domaine [TH1] [TH3].

La modélisation d'entreprise a pour objet la construction de modèles d'une partie déterminée d'une entreprise pour en expliquer la structure et le fonctionnement ou pour en analyser le comportement (Vernadat, 1999). De nombreux langages ou standards ont été développés pour tenter de formaliser ces modèles, comme l'attestent les états de l'art dans ce domaine [RPE14] (Garcia-Diez, *et al.*, 2005). Cependant, ces modèles et méthodologies sont très souvent focalisés sur la modélisation des processus de l'entreprise (opérationnels, organisationnels, décisionnels) et très peu sur la modélisation des produits et services offerts par cette entreprise et, produits ou consommés par ces processus. En fait, ces deux vues de l'entreprise sont duales, primordiales et corrélées. Elles nécessitent des meta-modèles et modèles, à la fois spécifiques, mais aussi interopérables.

L'interopérabilité est un moyen d'assurer l'intégration. La différence entre *intégration* et *interopérabilité* est clarifiée par le standard ISO 14258 (1999) qui considère que des modèles peuvent faciliter : (1) *l'intégration* quand il existe un standard ou une représentation pivot qui les formalise ; (2) *l'unification* quand il existe un meta-modèle commun assurant une équivalence sémantique entre eux ; (3) *la fédération* lorsque les modèles existent par eux-mêmes mais que des correspondances entre les concepts qu'ils modélisent peuvent être définis à un niveau ontologique pour formaliser la sémantique de leur interopérabilité.

L'intégration est souvent considérée comme allant plus loin que l'interopérabilité, en forçant une certaine dépendance fonctionnelle des applications. Alors que des systèmes interopérables peuvent fonctionner indépendamment, un système intégré peut perdre certaines fonctionnalités si certains de ses services sont interrompus. Un système intégré est donc composé d'applications interopérables mais des applications interopérables ne réalisent pas nécessairement un système intégré.

En complément de ces deux vues systémiques, certains systèmes peuvent n'être que *compatibles*. Ces systèmes n'interfèrent pas directement entre eux. Cela n'implique donc pas qu'ils soient capables d'échanger des services. Des systèmes interopérables sont, par définition, compatibles, au moins en partie, mais l'inverse ne l'est pas.

Nous avons appliqué, en l'interprétant, le modèle EICM "Enterprise Integration Capability Model" de (Hollocks et al., 1997) (Tableau 1) afin de proposer une métrique en 5 niveaux de caractérisation des applications d'entreprises. En regard du triple critère intégration/unification/fédération, cette interprétation nous conduit à

généraliser et rationaliser les problématiques scientifiques issues de notre implication dans plusieurs projets européens (IMS-Smart-fm [PE5], UEML [PE6], INTEROP NoE [PE7]) et ont ainsi donné lieu (Tableau 2) à la thèse de Sergio Terzi [TH1], sur la définition d'un modèle pivot pour la traçabilité des produits (voir II 2.3), la thèse de Salah Baïna [TH2] sur la définition d'un meta-modèle commun pour l'interopérabilité B2M (Business To Manufacturing) (voir II 3.3) et la thèse d'Angela Tursi [TH3], en cours, visant la prise en compte d'heuristiques et la définition d'une ontologie pour la formalisation de l'interopérabilité centrée sur le produit.

|                           |  |
|---------------------------|--|
| Niveau 5 : Adaptables     | Les applications sont capables de s'adapter sur la base d'heuristiques communes  |
| Niveau 4 : Interopérables | Les applications peuvent coopérer en mettant en commun leurs données et leurs modèles  |
| Niveau 3 : Visibles       | Les applications sont capables de s'échanger des données et des modèles par l'intermédiaire d'interfaces publiques standards |
| Niveau 2 : Rigides        | Les applications sont coordonnées par des liens rigides  |
| Niveau 1 : Fragmentés     | Les applications sont cloisonnées et opèrent de façon indépendante   |

Tableau 1 : Adaptation de l'échelle "Enterprise Integration Capability Model" (Hollocks, et al.,1997)

|                     |                       | Intégration des systèmes<br><i>Modèle Pivot</i> | Unification des systèmes<br><i>Meta-Modèle</i> | Fédération des systèmes<br><i>Ontologie</i> |
|---------------------|-----------------------|---|--|---|
| Intégré             | Niveau 5 : Adaptables |   |  | Thèse Angela Tursi                          |
|                     | Interopérable         | Thèse Sergio Terzi                              | Thèse Salah Baïna                              | INTEROP NoE                                 |
| UEML & IMS-Smart-fm |                       | INTEROP NoE & UEML                              |  |   |
| Compatible          | Niveau 3 : Visibles   |   |  |   |
|                     | Niveau 2 : Rigides    |   |  |   |
|                     | Niveau 1 : Fragmentés |   |  |   |

Tableau 2 : Positionnement scientifique des projets et des thèses codirigées ou en cours

Ce mémoire se présente en 5 parties. La partie I propose, sur la base d'un état de l'art, un cadre de classification du processus d'interopérabilité des applications d'entreprises. Nous détaillerons ensuite, dans la partie II notre travail de recherche, sur la définition de meta-modèles et de modèles pour l'interopérabilité ayant donné lieu à publications et à la définition des thèses, Post-Doc, DEA encadrés, codirigés ou en cours.

La partie III détaille notre programme de recherche futur en précisant la problématique scientifique, nos objectifs de recherche, les actions et les résultats escomptés.

Nous détaillons dans la partie IV nos activités d'enseignement et de responsabilités pédagogiques ainsi que nos travaux de R&D en génie pédagogique et notre projet pédagogique futur.

Enfin, en conclusion générale, la partie V terminera notre document en présentant un bilan de nos travaux avant de lister l'ensemble de notre production scientifique dans les parties suivantes.

Afin de faciliter la lecture, à la fin du document sont recensées la liste des références bibliographiques classées en trois grandes parties (scientifiques, techniques, standards), la liste des acronymes utilisés, la liste des figures et la liste des tableaux.

# I De la caractérisation de l'interopérabilité

---

## 1. DEFINITIONS

---

### 1.1 *Intégration d'entreprise*

L'intégration d'entreprise signifie l'intégration des systèmes (matériels, logiciels, fonctions) de l'entreprise. Selon le dictionnaire LAROUSSE<sup>1</sup>, l'intégration des systèmes consiste à assembler les différentes parties d'un système et à assurer leur compatibilité ainsi que le bon fonctionnement du système complet. Il s'agit donc de faire tomber les barrières fonctionnelles et organisationnelles au sein des entreprises afin que l'ensemble soit vu comme un tout cohérent. L'intégration système est une composante de l'ingénierie système<sup>2</sup>, qui définit les méthodologies, méthodes, meta-modèles, modèles, langages et outils nécessaires à l'analyse et la conception d'un système.

L'intégration n'est pas un but en soi. C'est un moyen d'assurer la cohérence fonctionnelle et informationnelle de l'entreprise. L'interopérabilité des systèmes, telle que définie par la suite, n'est elle aussi qu'un moyen, parmi d'autres, pour faciliter l'intégration.

### 1.2 *Interopérabilité des systèmes*

L'interopérabilité des systèmes n'est pas un problème nouveau. C'est principalement une mode et nombre de problèmes d'interopérabilité ont déjà été traités par les nombreuses recherches sur l'intégration (Vernadat, 1996 ; Bernus, *et al.*, 1998). Cependant, alors que l'intégration concerne aussi les aspects organisationnels de l'entreprise, l'interopérabilité se focalise principalement sur les aspects techniques. Elle concerne à la fois les systèmes matériels et les systèmes logiciels. De nombreuses définitions existent dans la littérature (pour n'en citer que les plus communes) :

- L'interopérabilité est la capacité des systèmes informatiques et des processus qu'ils supportent d'échanger des données et de permettre la partage d'information et de connaissance (EIF, 2004) ;
- L'interopérabilité est le moyen par lequel les systèmes, les informations et les méthodes de travail sont interconnectés: à l'intérieur des administrations ou entre ces dernières, au niveau national ou à travers toute l'Europe, ou avec les entreprises (EU, 2003) ;
- L'interopérabilité est la capacité que possèdent deux ou plusieurs systèmes ou composants à échanger des informations puis à exploiter les informations venant d'être échangées (IEEE, 1990) ;
- L'interopérabilité est la capacité, approuvée mais non garantie par la conformité à un ensemble de standards, d'équipements hétérogènes, généralement

---

<sup>1</sup> Le petit LAROUSSE, édition 1995

<sup>2</sup> INCOSE, <http://www.incose.org>



développés par différents fabricants, de travailler ensemble dans un environnement en réseau (IEEE, 2000) ;

- L'interopérabilité est la capacité de systèmes, unités ou ressources de fournir des services à ou d'utiliser des services d'autres systèmes, unités ou ressources et d'utiliser ces services échangés pour leur permettre de coopérer de manière effective (DoD, 1994) ;
- L'interopérabilité est la capacité de communiquer avec d'autres systèmes et d'accéder à leurs fonctionnalités (Vernadat, 1996) ;
- L'interopérabilité est la capacité à communiquer, exécuter des programmes, transférer des données entre différentes unités fonctionnelles de manière à ce qu'un utilisateur n'ait besoin que de peu ou pas de connaissances sur les caractéristiques de ces unités (ISO/IEC 23821, 1993).

Même si l'aspect matériel et communication est incontournable, nous nous sommes limités, dans nos travaux de recherche, à l'aspect échange informationnel de l'interopérabilité des applications et nous adopterons donc la définition, adaptée des précédentes, proposée par le réseau d'excellence INTEROP [RPE22]:

- L'interopérabilité des applications d'entreprise est définie comme la capacité pour un système d'échanger de l'information et des services dans un environnement technologique et organisationnel hétérogène.

## 2. INTRODUCTION

L'interopérabilité des applications relève, à la fois, d'un processus technologique, mettant en œuvre des techniques de génie informatique et d'un processus scientifique, mettant en œuvre la formalisation de modèles de niveaux d'abstraction différents. Le processus d'interopérabilité, c'est-à-dire le processus de modélisation et de développement qui permet de rendre deux applications interopérables peut ainsi être caractérisé en fonction des niveaux d'abstraction des modèles qui doivent être échangés et du type de modèle supporté par les applications concernées.

Dans cette partie, nous allons proposer un cadre conceptuel de caractérisation du processus d'ingénierie de l'interopérabilité (Section 4) en nous appuyant sur des cadres de modélisation pour l'interopérabilité fournissant des métriques caractérisant les applications d'entreprises et les modèles interopérables (Section 3.2), un cadre conceptuel définissant les niveaux d'abstraction des modèles d'entreprise (Section 3.3) puis une architecture de modélisation définissant les types de modèles manipulés par les applications (Section 3.4).

## 3. CADRES DE MODELISATION POUR L'INTEROPERABILITE

### **3.1 Introduction**

Nous proposons dans cette section, à partir d'une synthèse faite à partir de l'étude de la littérature, une classification de l'interopérabilité suivant quatre perspectives :

- Niveaux d'interopérabilité : LISI (Levels of Information Systems Interoperability)
- Types d'interopérabilité : LCIM (Levels of Conceptual Interoperability Model)

- Niveaux d'abstraction des modèles : MDA (Model Driven Architecture)
- Types de modèles : Cadre de modélisation Zachman

De cette classification, nous proposerons, dans la section suivante, une tentative de caractérisation de l'interopérabilité, ensemble de métriques permettant d'identifier les niveaux d'abstraction des modèles, les types de modèles mis en œuvre par les applications, les niveaux décisionnels auxquels se réfèrent les applications et une typologie du processus d'ingénierie de l'interopérabilité.

### **3.2 Niveaux d'interopérabilité**

La problématique d'interopérabilité des applications d'entreprise, qu'elles soient dédiées à la production de biens ou à la production de services, peut être déclinée suivant différents points de vue et perceptions. Ces aspects correspondent à des cadres de modélisation ayant, pour point commun, une perspective implicite ou explicite d'évolution des applications suivant une échelle linéaire : plus un processus d'ingénierie de l'interopérabilité est à un niveau élevé dans cette échelle, plus il concerne un niveau d'abstraction élevé des modèles et de leur sémantique. Pour cette raison, il est très souvent classé en « niveau d'interopérabilité » dans la littérature :

- Les travaux du groupe de travail « Architectures » du C4ISR (Command, Control, Communications, Computers, Intelligence, Surveillance, and Reconnaissance) a défini un modèle des niveaux d'interopérabilité des systèmes d'information (LISI : Levels of Information Systems Interoperability) (C4ISR, 1998). LISI spécifie un modèle de capacité (Interoperability Capability Model) sur la base d'une matrice avec 5 niveaux d'interopérabilité affectant 4 caractéristiques relatives à l'interopérabilité (Figure 2) :
  0. Systèmes isolés : aucune connexion n'existe entre les applications. Les échanges sont manuels ;
  1. Systèmes connectés : les applications sont connectées électroniquement, mais sont totalement séparées ainsi que leurs données. Des échanges de données homogènes semi-structurées sont possibles ;
  2. Systèmes distribués : les applications ont quelques fonctions communes, mais sont totalement séparées ainsi que leurs données. Des échanges de données hétérogènes sont possibles ;
  3. Systèmes intégrés : les applications sont séparées mais partagent des données communes (Bases de données). Elles peuvent collaborer de manière sophistiquée.
  4. Systèmes universels : les applications et leurs données sont partagées dans l'entreprise ou entre plusieurs entreprises. Les mécanismes de collaboration entre application sont très développés.

Ces 5 niveaux d'interopérabilité affectent 4 types de caractéristiques (PAID):

- Les **Procédures**, représentant les pratiques, les architectures et les standards permettant l'échange d'informations ;
- Les **Applications**, représentant les applications logicielles permettant l'échange, le traitement et la manipulation d'informations ;

- Les Infrastructures (ou Architectures), représentant l'environnement technique (matériel, réseau, système) qui permettent les interactions entre applications.
- Les Données, représentant les formats et les protocoles permettant l'échange d'informations au travers d'une sémantique commune ;

L'interopérabilité des applications d'entreprises nécessite, au minimum, des applications classées au niveau 1 de cette typologie.

Ce modèle de référence pour la définition et l'évaluation de l'interopérabilité est le pendant des modèles de références d'architecture tel que par exemple le modèle de référence Zachman (Zachman, 1987) que nous présenterons au paragraphe 3.4.

| Nature of Operational Information Interaction | Corresponding Interoperability Level |   | Implications     |                         |                     |                  |
|---|--------------------------------------|---|------------------|-------------------------|---------------------|------------------|
|   |                                      |   | <b>P</b>         | <b>A</b>                | <b>I</b>            | <b>D</b>         |
| Cross-Domain Interactive Manipulation         | Enterprise                           | 4 | Enterprise Level | Interactive             | Multiple Topologies | Enterprise Model |
| Shared Applications & Databases               | Domain                               | 3 | Domain Level     | Groupware               | World Wide Networks | Domain Model     |
| Complex Media Exchange                        | Functional                           | 2 | Program Level    | Desktop Automation      | Local Networks      | Program Model    |
| Simple Electronic Exchange                    | Connected                            | 1 | Local/Site Level | Standard System Drivers | Simple Connection   | Local            |
| Manual Gateway                                | Isolated                             | 0 | Access Control   | N/A                     | Independent         | Private          |

Figure 2 : Interoperability Capability Model (C4ISR, 1994)

- L'OTAN, dans le cadre de son groupe de travail sur les architectures techniques (NC3TA), a développé un modèle de référence pour l'interopérabilité (NMI) (NATO, 2003). Ce modèle de référence définit 4 niveaux d'interopérabilité :
  1. Echange de données non structurées : les applications peuvent s'échanger des informations non structurées, interprétables par l'homme (texte) ;
  2. Echange de données structurées : les applications peuvent s'échanger des données structurées, interprétables par l'homme pour une exploitation manuelle ou automatique (XML) ;
  3. Partage de données : les applications peuvent partager, de manière automatique, des données, sur la base d'un modèle commun d'échange ;

4. Partage d'informations : les applications partagent une sémantique (ontologie) commune pour l'interprétation des échanges et mettent en œuvre des traitements coopératifs de ces informations.
- Ce modèle de référence, proposé par l'OTAN, a été adapté par Tolk A. et J. A. Mugira (2003), pour l'interopérabilité organisationnelle des applications. Ils proposent un cadre conceptuel (LCIM : Levels of Conceptual Interoperability Model) en 5 niveaux qui s'appuie sur les types de données à échanger entre applications :
    0. Les données sont spécifiques aux systèmes : il n'y a pas d'interopérabilité entre deux systèmes. Les données sont vues comme des ressources sans possibilité d'être partagées avec d'autres systèmes. Les applications sont vues comme des « boîtes noires » ;
    1. Les données sont documentées par une spécification commune formalisant les interfaces d'accès à ces données. Les applications sont vues comme des boîtes noires avec des interfaces ;
    2. Les données sont statiques : elles se réfèrent à des métadonnées. Elles sont documentées par un modèle de référence basé sur une ontologie commune, des modèles de références partagés ou des éléments normatifs. Cependant, un modèle de ces données peut être utilisé de manière plus ou moins différente par différents systèmes ;
    3. Les données sont dynamiques : leur spécification est définie par un langage unifié de modélisation tel que UML (Unified Modeling Language) ;
    4. Les données et les traitements sont harmonisés : l'interrelation sémantique entre les données est formalisée par des modèles conceptuels. Les applications interopérables se réfèrent à un unique « Univers du Discours » relatif aux systèmes physiques qu'elles pilotent.
  - L. J. Obrst (2004) définit un cadre pour la définition de l'interopérabilité en 6 niveaux :
    1. Données
    2. Objet
    3. Composant
    4. Application
    5. Système
    6. EntrepriseCes 6 niveaux d'interopérabilité sont croisés avec 3 types d'interopérabilité :
    7. Syntaxique
    8. Structurelle
    9. Sémantique

A titre d'exemples, l'auteur mentionne que l'interopérabilité syntaxique concerne principalement les langages de modélisation, l'interopérabilité structurelle concerne plus particulièrement la transformation de modèles alors que l'aspect sémantique nécessite des logiques de description formelles.

- Clark, T. et R. Jones (1999) proposent, avec une approche relative à l'organisation d'entreprise favorisant l'interopérabilité des applications (OIM : Organisational Interoperability Maturity model), un modèle d'interopérabilité en 5 niveaux :
  0. Organisations indépendantes : Les organisations sont indépendantes et aucun échange n'est en place ni possible. Ces organisations peuvent collaborer avec pour seule interaction, l'interaction humaine ;
  1. Organisations ad-hoc : A ce niveau d'interopérabilité, les organisations n'ont pas de cadre commun mais des actions, au cas par cas, peuvent exister ;
  2. Organisations collaboratives : Dans ce niveau, les acteurs doivent avoir mis en place des cadres de compréhension (ontologies) normatifs tout en restant distincts ;
  3. Organisations intégrées : Ce niveau d'interopérabilité implique un partage des connaissances entre tous les acteurs de l'entreprise ;
  4. Organisations unifiées : Ces organisations possèdent des objectifs, des systèmes de valeur, une structure de décision et des connaissances de base partagées par tous les acteurs.

L'interopérabilité des applications n'est donc pas seulement un problème technologique (cf. LISI ou LCIM) mais aussi un problème organisationnel, qui la rapproche donc de l'intégration, même si l'intégration est une problématique beaucoup plus vaste. Les auteurs (Clark, T. et R. Jones, 1999) postulent, bien qu'une validation de cette assertion soit nécessaire, qu'à chaque niveau d'interopérabilité organisationnelle doit correspondre un niveau minimum d'interopérabilité technologique. Nous croyons cette assertion vraie sans l'avoir pour autant vérifiée. Cette dichotomie est cohérente avec les définitions proposées par l'EIF (European Interoperability Framework) (EIF, 2004) :

- L'interopérabilité technologique relative à la mise en œuvre des technologies de l'information et de la communication concernant les normes pour présenter, stocker, échanger, traiter et communiquer les données au moyen de matériels informatique ;
- L'interopérabilité sémantique, de niveau plus conceptuel, qui doit assurer que les informations échangées sont compréhensibles du point de vue de leur signification et de leur interprétation par les applications qui les utilisent mais ayant été développées pour des objectifs différents. L'interopérabilité sémantique permet à des systèmes de combiner l'information reçue de la part d'autres sources d'information et de la traiter tout en en conservant le sens ;
- Enfin, l'interopérabilité organisationnelle définissant les responsabilités, autorisations, confiances, aspects légaux, propriétés intellectuelles et structures organisationnelle nécessaires à l'acceptation des échanges d'information entre applications par les différents acteurs. Ce niveau d'interopérabilité est particulièrement mis en avant dans le cadre de l'interopérabilité de l'administration électronique et des gouvernements (Klischewski, 2004).

Selon l'IEC 62390 (IEC 62390, 2005), l'interopérabilité d'un système n'est autre qu'un niveau de compatibilité qu'il est possible d'obtenir en garantissant



mêmes types de données pour les deux parties de la communication.

4. Interopérabilité : aptitude de deux systèmes ou plus à fonctionner simultanément au sein d'une même application. La sémantique des données utilisées, les fonctionnalités supportées sont suffisamment documentées, de telle façon à ce que le remplacement d'un système par un autre système similaire n'altère en rien le bon déroulement des fonctionnalités du système global. Cependant, le comportement dynamique des systèmes peut être différent.
5. Interchangeabilité : aptitude de deux systèmes ou plus à se remplacer mutuellement pour une certaine tâche dans une ou plusieurs applications. Après remplacement, le nouveau système conserve les mêmes fonctionnalités que le système remplacé, le comportement dynamique des deux systèmes reste le même.

Dans l'industrie manufacturière (canevas proposé par le Semiconductor Manufacturing Technology) (Sematech, 1995), l'interopérabilité est définie en trois niveaux principaux :

- Une interopérabilité de classe A pour la communication qui doit garantir que tous les équipements s'échangent des informations et se "comprennent" comme s'ils étaient du même constructeur.
- Une interopérabilité de classe B pour les services (applications), c'est-à-dire que les équipements sont capables non seulement d'échanger des informations et de se comprendre (classe A), mais aussi de fournir en retour le service demandé dans des conditions données afin de satisfaire à la finalité globale de l'application.
- Une interopérabilité de classe C pour l'interchangeabilité, voire l'adaptabilité. Un équipement interchangeable doit tout d'abord répondre aux classes A et B et sa substitution par un autre équipement ne doit poser aucun problème du point de vue du système (assurer des performances similaires et une compatibilité physique).

De manière analogue, (Medjahed, 2004) adopte trois niveaux concernant la communication, les langages et les processus.

Le réseau d'excellence INTEROP [PE7], dans lequel nous contribuons, s'attache aussi à définir les différents aspects de l'interopérabilité des applications d'entreprises (Chen, *et al.*, 2005), reprenant et adaptant ces niveaux d'interopérabilité.

### **3.3 Architecture dirigée par les modèles (MDA)**

L'approche MDA (Model Driven Architecture) (Miller and Mukerji, 2003 ; Mellor, et al., 2004), définie par l'OMG (Object Management Group), est utilisée pour le développement des systèmes. Elle est orientée modèle parce qu'elle fournit les bases pour l'utilisation des modèles pour guider la compréhension, la conception, la construction, le déploiement, la maintenance et la modification des systèmes développés. Les trois principaux objectifs du MDA sont la portabilité, interopérabilité et la réutilisabilité à travers la séparation de l'aspect dépendant de la plateforme ou de l'application étudiée et de l'aspect plus abstrait indépendant de l'application. Elle

permet de séparer les spécifications fonctionnelles d'un système des spécifications de son implémentation sur une plate-forme donnée. A cette fin, le MDA définit une architecture de spécifications structurée en modèles du domaine (CIM : Computation Independent Model), en modèles indépendants des plates-formes (PIM : Platform Independent Model) et en modèles spécifiques (PSM : Platform Specific Model) :

- Modèle CIM

Le modèle CIM est un modèle conceptuel du domaine, dont la spécification, le vocabulaire utilisé est celui du praticien du domaine. Il fait le pont entre les experts du domaine et les experts de la conception et construction des artefacts qui satisfont les besoins du domaine. Ce modèle se définit suivant les exigences du client et représente l'application dans son environnement. Il permet de définir les liens de traçabilité avec les modèles construits dans les futures étapes comme les modèles d'analyse et de conception. Il ne contient pas d'informations sur la réalisation de l'application ni sur les traitements (modèle indépendant de la programmation).

- Modèle PIM

Le PIM de base représente uniquement les capacités fonctionnelles métiers et le comportement du système, sans "dégradations" par des considérations technologiques. La clarté de ce modèle doit permettre à des experts du domaine de le comprendre bien mieux qu'un modèle d'implémentation. Ils peuvent ainsi vérifier plus facilement que le PIM est complet et correct. Un autre bénéfice de l'indépendance technique de ce modèle est qu'il garde tout son intérêt au cours du temps et doit être modifié uniquement si les connaissances ou besoins métiers changent.

- Modèle PSM

Une fois le PIM suffisamment détaillé, il est projeté vers un modèle spécifique (PSM). Pour obtenir un modèle spécifique, il faut choisir la ou les plates-formes d'exécution (plusieurs plates-formes peuvent être utilisées pour mettre en œuvre un même modèle). Les caractéristiques d'exécution et les informations de configuration qui ont été définies de façon générique sont converties pour tenir compte des spécificités de la plate-forme.

L'approche MDA permet de réaliser le même modèle sur plusieurs plates-formes grâce à des projections standardisées. Elle permet aux applications d'interopérer en reliant leurs modèles et supporte l'évolution des plates-formes et des techniques. La mise en œuvre du MDA est entièrement basée sur les modèles et leurs transformations.

L'approche MDA est basée sur quatre niveaux de modèle (Naumenko et Wegmann, 2003) (Figure 4).



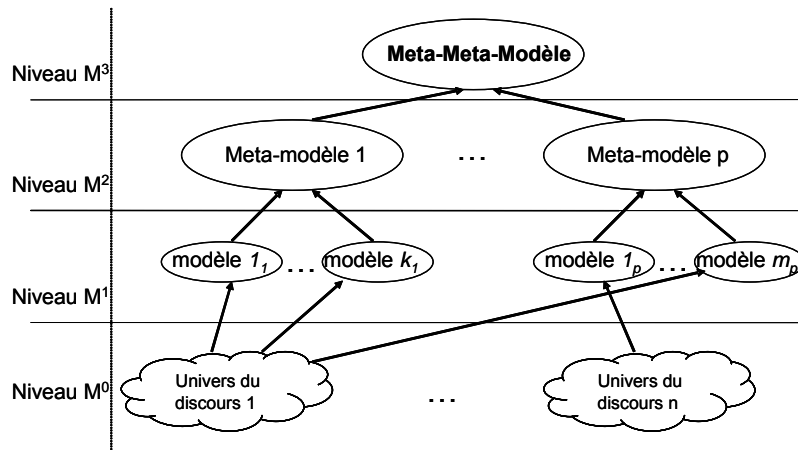


Figure 4 : L'approche MDA et les quatre niveaux de modèles.

Le niveau le plus bas M0 représente les différents sujets de modélisation aussi appelés « univers du discours ». Le niveau M1 contient les différents modèles de chaque univers de discours. Le modèle d'un système est sa description ou sa spécification. Un modèle est souvent présenté comme une combinaison de dessins et de textes. Le texte peut être dans un langage de modélisation spécifique ou bien en langage naturel. Les modèles du niveau M1 appartiennent à différents domaines d'intérêt relatifs aux univers du discours représentés par les modèles. Il est possible qu'un domaine d'intérêt recouvre plusieurs univers du discours. De même, des modèles provenant de différents univers de discours peuvent relever du même domaine d'intérêt. Le niveau M2 représente les meta-modèles spécifiques à chaque domaine: un meta-modèle pour chaque domaine d'intérêt pertinent pour les modèles de niveau M1. Finalement, le niveau M3 présente le meta-meta-modèle et doit être conçu pour permettre la définition de tous les concepts nécessaires pour la modélisation de meta-modèles et pour leur unification sous un cadre commun. Un meta-meta-modèle est indépendant du domaine, il contient des méta-caractéristiques pour des meta-modèles spécifiques.

Etablir l'interopérabilité entre applications revient donc à définir les transformations possibles entre les modèles se trouvant à la base de ces applications. Lemesle (1998) introduit la transformation de modèles en établissant des règles de transformations entre meta-modèles (Figure 5).

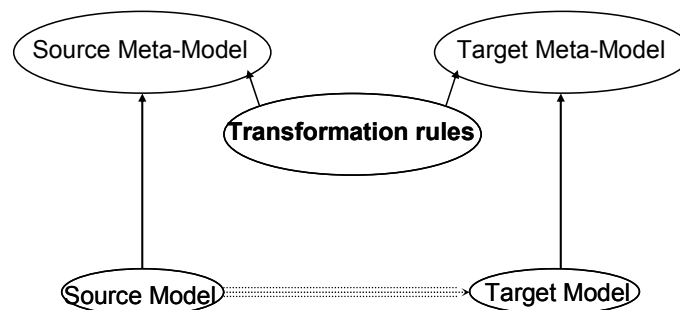


Figure 5 : Transformation de meta-modèle (Lemesle, 1998)

On appelle donc mapping, l'ensemble des règles de transformation de modèles permettant de traduire les instances d'un meta-modèle source en des instances d'un meta-modèle cible (Levendovszky, *et al.*, 2002).

Dans un contexte plus large, la transformation de modèles et les approches par meta-modélisation ont fait l'objet, au niveau national, d'une Action Spécifique du CNRS « Ingénierie Dirigée par les Modèles »<sup>3</sup> (Favre, *et al.*, 2006) ainsi, qu'au niveau international, de plusieurs projets européens (Master, Modatel, Modelware, ...). Deux groupes de travail du réseau d'excellence européen INTEROP sont actuellement focalisés sur ce domaine.

Dans le cadre de la thèse de S. Baïna [TH2], l'approche MDA a été appliquée avec pour objectif de concevoir et établir l'interopérabilité des informations et données portant sur les produits entre l'ensemble des applications manipulant ses informations dans l'entreprise. Cette recherche a donné lieu à un article dans une conférence internationale [CI34] et dans une revue nationale [RN4].

### **3.4 Cadre de modélisation Zachman**

Le cadre de modélisation (framework, en anglais) proposé par Zachman (Zachman, 1987 ; Sowa and Zachman, 1992) définit une matrice de 36 cellules (Figure 6) qui couvre les différentes problématiques de l'entreprise formulées de la façon suivante : En colonnes, les questions

- QUOI (données : que traite-t-on ?),
- COMMENT (fonctions : comment traite-t-on ?),
- QUI (personnes : qui est impliqué ?),
- OU (réseau, organisation : où traite-t-on ?),
- QUAND (temps : quand traite-t-on ?, selon quels cycles ?),
- POURQUOI (objectifs, contraintes : pourquoi veut-on traiter ?)".

Ces questions génériques représentent les points fondamentaux à considérer durant le processus de développement d'un système. Ils sont abordés selon cinq niveaux correspondant aux points de vue des différents acteurs impliqués. Dans ce modèle, les perspectives, rattachées aux niveaux stratégiques, métier, logique, technologique et technique, ne sont pas étanches mais se complètent sur les niveaux adjacents.

Elles décrivent respectivement les objectifs de l'organisation, ses processus métier et leurs relations, les fonctions que le système doit supporter, les spécifications techniques, et les composants déployés :

- Objectif (scope) : plans, objectifs et stratégie de l'organisation,
- Conceptuel (conceptual) : les modèles d'entreprise et les métiers qui agissent dans l'organisation,
- Logique (logical) : les modèles d'analyste fonctionnelle qui modélisent les processus métier,
- Technologique (physical) : les choix technologiques susceptibles de répondre aux enjeux métier,
- Détaillé : les composants de développement des applications,
- Exploitation (functioning enterprise) : les instances spécifiques à une application d'entreprise.

Toutes les contraintes issues des différents points de vue et susceptibles d'avoir un impact important sur le développement du système sont ainsi identifiées et

---

<sup>3</sup> AS MDA, <http://idm.imag.fr/as>

formalisées. Elles tendent généralement à se propager du haut (le métier) vers le bas (l'infrastructure) à l'exception de celles qui « matérialisent » le poids de l'existant.

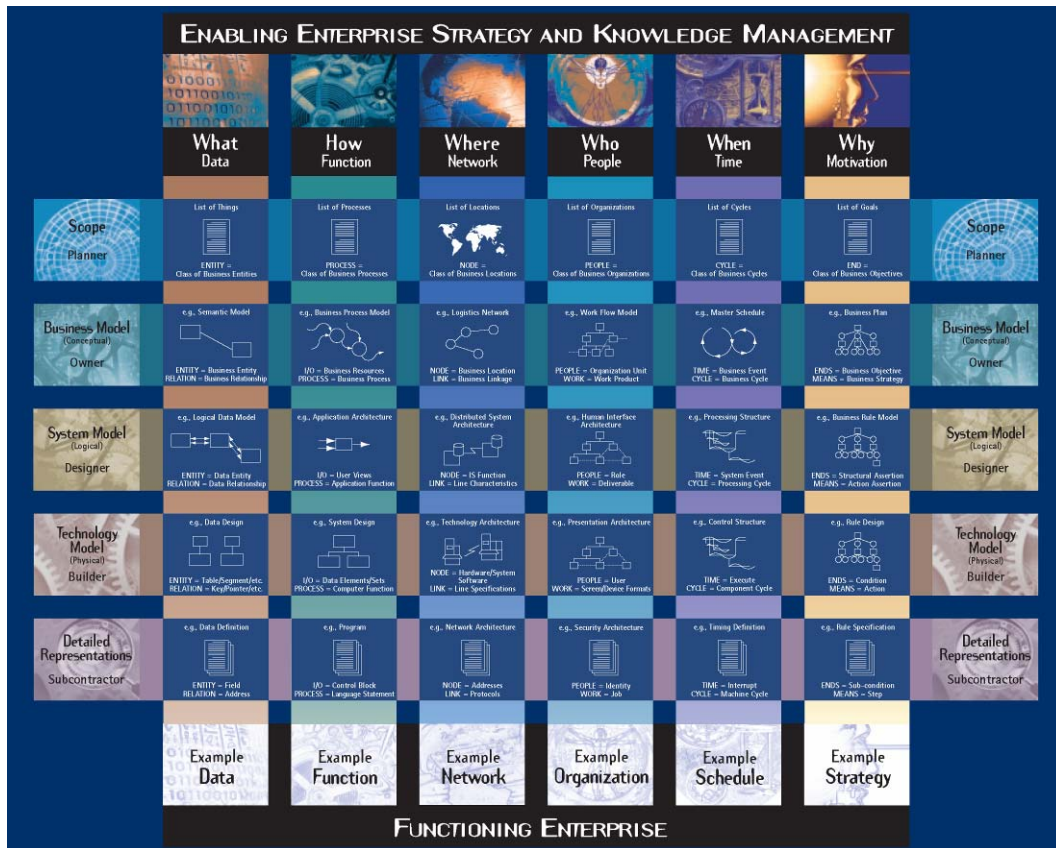


Figure 6 : L'architecture de référence Zachman (Sowa and Zachman, 1992)

Cette architecture de modélisation peut être vue comme un cadre fédérateur permettant la classification des modèles d'entreprise et ainsi définir les interfaces d'échange informationnel entre modèles nécessaires à leur interopérabilité. L'architecture Zachman peut aussi être vue comme un filtre, éventuellement récursif, facilitant l'étude des modèles. Nous avons ainsi proposé une projection du standard IEC 62264 sur cette architecture afin d'en faciliter sa compréhension et son instantiation pour l'étude de l'interopérabilité entre applications [R17].

### 3.5 Synthèse

Le processus visant à mettre en place l'interopérabilité des applications d'entreprise est un processus complexe. C'est un problème à la fois technique, sémantique et organisationnel. Il dépend, non seulement des objectifs de collaboration des entreprises concernées mais aussi de leur volonté de s'ouvrir à l'extérieur et partager l'information. Cependant, ce partage d'information pose encore des problèmes liés au secret professionnel et à la propriété intellectuelle. Le processus d'ingénierie de l'interopérabilité dépend aussi des applications mises en place, de leur ouverture et de la disponibilité de leurs modèles internes. Ces modèles, souvent de niveau physique (implémentation) doivent aussi être disponibles au niveau conceptuel pour permettre leur analyse indépendamment de l'architecture d'implémentation. Ces modèles adressent non seulement les processus d'entreprise, leurs informations

mais aussi tous autres objets d'entreprise tels que les organisations, responsabilités, produits, ressources. Différents cadres de modélisation existent pour caractériser ces entreprises, organisations, ces applications, ces modèles, d'un point de vue de leur interopérabilité. Ces différents cadres de caractérisation de l'interopérabilité sont résumés dans le Tableau 3 suivant :

| EIF  | Sémantique                  |                         |                        |                            | Organisationnelle |
|------|-----------------------------|-------------------------|------------------------|----------------------------|-------------------|
|      | Technique                   |                         |                        |                            |                   |
| LISI | 0 – Isolée                  | 1 – Connectée           | 2 – Distribuée         | 3 – Intégrée               | 4 – Universelle   |
| OIM  | 0 – Indépendante            | 1 – Ad-hoc              | 2 – Collaborative      | 3 – Intégrée               | 4 – Unifiée       |
| LCIM | 0 – Spécifiques             | 1 – Documentées         | 2 – Statiques          | 3 – Dynamiques             | 4 – Harmonisées   |
| NATO | 1 – Données non structurées | 2 – Données Structurées | 3 – Partage de données | 4 – Partage d'informations |                   |

Tableau 3 : Les cadres de caractérisation de l'interopérabilité

Ces échelles de classification de d'interopérabilité, associées à la caractérisation des niveaux d'abstraction des modèles (cf. MDA) et la caractérisation des objets de modélisation (cf. Zachman), nous permettent, dans la section suivante, de définir et de classifier de manière plus précise et plus formelle les différents processus d'ingénierie de l'interopérabilité mis en œuvre dans l'entreprise communicante.

#### 4. UNE TENTATIVE DE CARACTERISATION DE L'INTEROPERABILITE

Compte tenu de la diversité des cadres de référence pour l'interopérabilité et les différents aspects de l'interopérabilité, nous avons tenté de définir un cadre pour la caractérisation du processus d'ingénierie de l'interopérabilité des applications (Figure 7). Ce référentiel cherche à définir un ensemble de métriques pour qualifier le processus d'ingénierie de l'interopérabilité en fonction du niveau des applications dans la hiérarchie décisionnelle de l'entreprise, le niveau d'abstraction des modèles concernés et la distance sémantique entre les modèles nécessitant, pour interopérer, un alignement sémantique de leurs concepts.

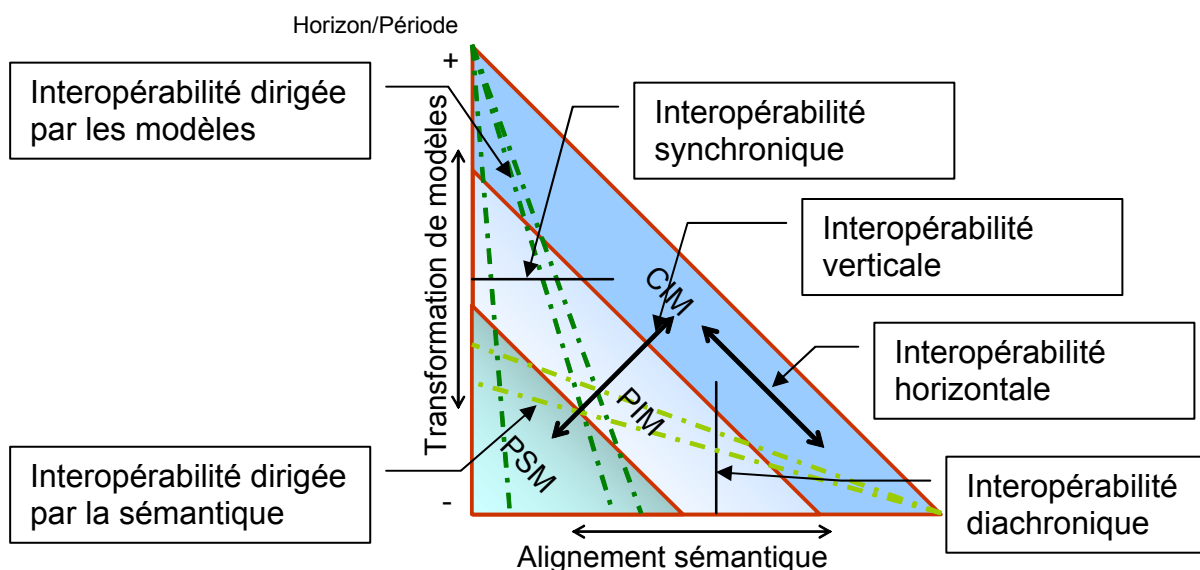


Figure 7 : Différentes typologies d'interopérabilité

Ce cadre propose ainsi une vue multidimensionnelle du processus d'ingénierie de l'interopérabilité nous permettant de distinguer les définitions suivantes :

**Interopérabilité synchronique :**

Une interopérabilité est dit synchronique<sup>4</sup> si les informations et les modèles échangés entre applications concernent des applications situées à même niveau décisionnel de l'entreprise (Horizon/Période) (Doumeingts, *et al.*, 1998) et pour lesquelles les modèles sont relativement compatibles syntaxiquement mais nécessitent un alignement sémantique avant d'être échangés.

**Interopérabilité diachronique :**

Une interopérabilité est diachronique<sup>5</sup> si les informations et les modèles échangés entre applications concernent des applications situées à des niveaux décisionnels différents de l'entreprise, ayant des états qui varient au cours du temps et pour lesquelles les modèles possèdent un sémantique commune mais des syntaxes relativement différentes. L'échange de ces informations et modèles nécessite des transformations syntaxiques.

Nous pouvons noter que, dans la pratique, un processus d'ingénierie de l'interopérabilité entre applications n'est quasiment jamais strictement *synchronique* ou *diachronique* mais c'est un mixte avec prépondérance de transformation syntaxique de modèles (nous dirons qu'il est « dirigé par les modèles » (MDI : Model-driven Interoperability en anglais (Bourey, *et al.*, 2005)) ou prépondérance d'alignement sémantique des modèles (nous dirons alors qu'il est « dirigé par la sémantique » (SDI : Semantic-driven Interoperability en anglais). En fait, la transformation syntaxique de modèles n'est jamais qu'un problème technique pour lequel de nombreuses solutions existent. Le verrou scientifique concerne plus particulièrement la formalisation d'une correspondance sémantique entre concepts issus de différents modèles et langages.

Le groupe de travail TG2 (Model-Driven Interoperability) (Bourey, *et al.*, 2005) du réseau d'excellence INTEROP [PE7] et, dans une moindre mesure, le groupe de travail TG3 (Model Morphism) (D'Antonio, *et al.*, 2005) s'intéressent plus particulièrement à l'aspect transformation de modèles pour l'interopérabilité des applications. Cette problématique est aussi traitée, avec un point de vue industriel, par le projet européen ATHENA IP. Le groupe de travail TG4 d'INTEROP (Semantic Enrichment of Enterprise Models and Architecture & Platforms) se focalise plutôt sur l'aspect sémantique de l'interopérabilité. Nous contribuons plus particulièrement à ce groupe de travail [RPE25].

**Interopérabilité verticale :**

L'architecture de modélisation dirigée par les modèles (MDA) préconisée par l'OMG (voir Section 3.3) définit trois niveaux conceptuels de modèles (CIM, PIM, PSM). Assurer l'interopérabilité de modèles définis à différents niveaux conceptuels procède d'une interopérabilité verticale.

---

<sup>4</sup> Du Grec, *syn-*, ensemble, et *chronos*, temps. Un système synchronique met en avant des processus qui s'exécutent ou qui existent au même instant, ou selon un horizon et une période identiques

<sup>5</sup> Du Grec, *dia-*, à travers, et *chronos*, temps. Un système diachronique met en avant des processus qui changent ou évoluent dans le temps ou à des périodes données.

### **Interopérabilité horizontale :**

Alors qu'assurer l'interopérabilité de modèles définis au sein d'un même niveau conceptuel procède d'une interopérabilité horizontale.

Dans ces deux cas, le processus d'ingénierie de l'interopérabilité consiste en une transformation syntaxique de modèles et un alignement sémantique des concepts modélisés

Un processus d'ingénierie de l'interopérabilité est ainsi représenté, dans ce référentiel, par un segment dont la longueur et la direction définissent, a priori, le type d'interopérabilité à mettre en œuvre (Figure 8). Nous ne prétendons pas définir, de manière formelle, l'interopérabilité entre applications mais simplement une classification relative du processus d'ingénierie de l'interopérabilité par rapport aux types d'applications mises en œuvre et la distance sémantique entre les informations et les modèles échangés [INV5]. Il est à noter que la problématique de quantification de la distance sémantique entre modèles est un domaine de recherche que nous n'avons pas exploré et qui reste un sujet de recherche ouvert (Roddick, *et al.*, 2003 ; Patwardhan, *et al.*, 2003 ; Rodríguez and Egenhofer, 2003).

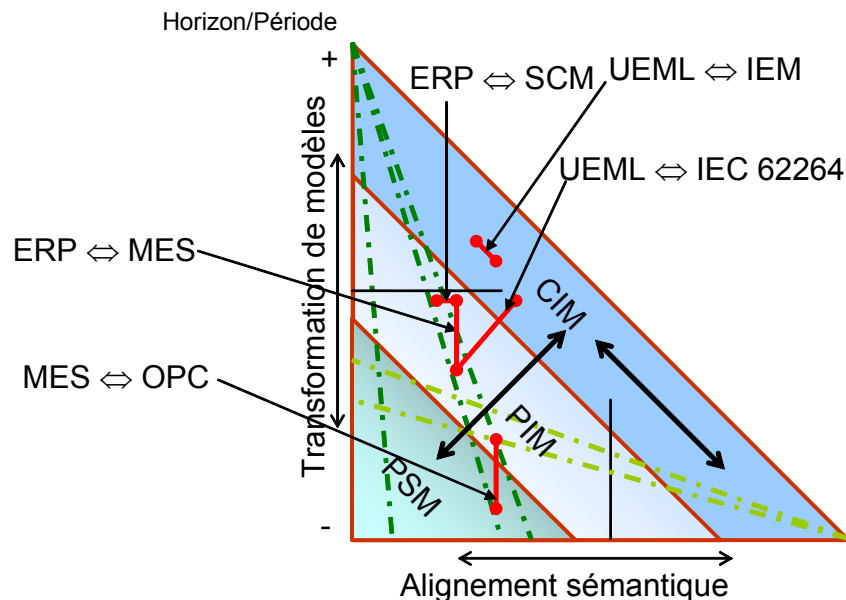


Figure 8 : Diagramme de caractérisation des processus d'ingénierie de l'interopérabilité

Par exemple, la Figure 8 caractérise le processus d'ingénierie de l'interopérabilité entre les langages de modélisation d'entreprise UEML et IEM comme une interopérabilité horizontale au niveau CIM.

L'échange d'information entre un ERP et un MES intervient au niveau PIM entre des niveaux décisionnels différents de l'entreprise et ne procède que d'une transformation de modèles sans changement de sémantique : c'est donc une interopérabilité *diachronique*.

L'interopérabilité entre le langage UEML et les modèles définis par le standard IEC 62264 est considéré comme une interopérabilité *verticale* [C130].

L'interopérabilité entre ERP et SCM, applications d'entreprises toutes deux au même niveau stratégique de l'entreprise procède d'une interopérabilité *synchronique* ne faisant intervenir qu'un changement de sémantique entre leurs modèles respectifs.

Ces travaux ont donné lieu à un article dans une revue internationale [R18].



## II Meta-modèles et modèles pour l'interopérabilité

### 1. INTRODUCTION

L'ensemble de nos travaux de recherche a pour objet la définition de meta-modèles et de modèles pour l'interopérabilité, voire l'intégration, des modèles d'entreprises. Déjà en 1991, ma thèse de doctorat de l'université de Nancy I [PAN1] traitait de ce problème par la mise en relation (à cette époque, nous ne parlions pas d'interopérabilité) d'outils de modélisation fonctionnelle et comportementale et, la définition d'une interface semi-automatique (Outil Grille) pour assurer la cohérence de l'information échangée sur la base de modèles de référence (nous ne parlions pas encore, dans notre communauté, d'ontologie). Le dernier chapitre de ma thèse proposait déjà l'utilisation de la meta-modélisation pour faciliter l'intégration forte des environnements logiciels de modélisation [RN2] et les spécifications d'un Atelier de Génie Automatique. Ainsi, nos travaux se sont orientés vers l'intégration et l'interopérabilité de modèles et leur application au domaine des entreprises de production.

Cette partie du document présente nos travaux de recherche, dans le domaine de l'intégration et l'interopérabilité des applications d'entreprises de production selon deux points de vue duaux : **produit et processus**. En effet les produits (représentant des biens ou des services) correspondent aux finalités des processus qui, eux-mêmes, n'ont de raison d'être mis en place que pour ajouter une valeur aux produits. L'originalité de notre démarche de recherche est qu'elle est basée sur des problématiques issues de notre implication dans plusieurs projets européens dans un contexte, successivement, de standardisation des échanges de modèles de produits [PE2][PE3][PE4][PE5] et de standardisation des échanges de modèles de processus [PE6][PE7]. A partir d'une généralisation et rationalisation (Tableau 2) des problèmes scientifiques issus de ces projets, nous avons pu identifier des verrous scientifiques qui ont contribué à la genèse des thèses (Figure 9) de Sergio Terzi [TH1], en cotutelle avec le Politecnico di Milano (Italie), de Salah Baïna [TH2] et du démarrage de la thèse d'Angela Tursi [TH3] en cotutelle avec le Politecnico di Bari (Italie).

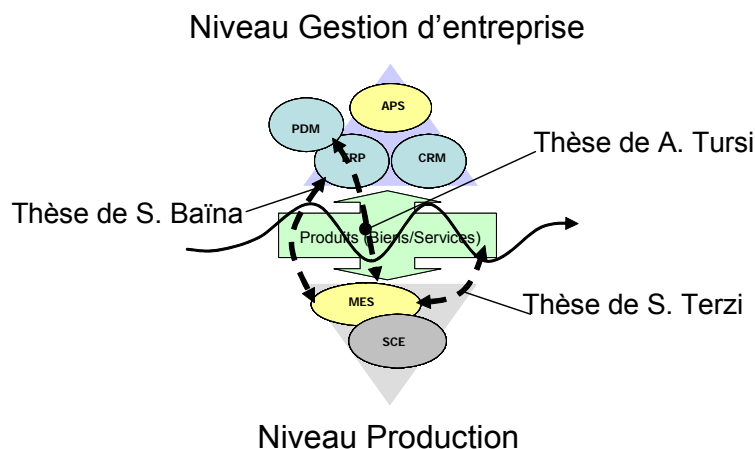


Figure 9 : Positionnement des thèses codirigées dans un contexte d'entreprise



## 2. META-MODELES ET MODELES DES DONNEES DE PRODUITS

### **2.1 Contexte**

Les modèles de données de produits en vue de leur échange sont les pendants des modèles de processus. Un processus n'a de raison d'être que s'il transforme des produits (ou services) et vice-versa. Nos travaux concernant les modèles de données de produits et leur standardisation sont issus de notre implication dans plusieurs projets européens, et en particulier les projets FSAP-DIS [PE4] et IMS Smart-fm [PE5]. Le résultat principal de ces projets est le développement et la validation internationale du standard ISO 10303-236 [RPE6] ainsi que les résultats de thèse de Sergio Terzi [TH1] en cotutelle avec le Politecnico di Milano (Italie).

### **2.2 Standard pour l'échange de modèles de données produit**

Cette section présente les résultats de notre implication dans l'initiative funStep (<http://www.funstep.org>) ayant donné naissance à plusieurs projets européens, FunStep-IG [PE2], Cofurn [PE3], FSAP-DIS [PE4] et IMS-Smart-fm [PE5]. Cette R&D impliquant aussi plusieurs doctorants a donné lieu à la coédition d'un chapitre d'actes internationaux [ED1], une participation à un ouvrage [OI1], 1 revue internationale [RI4], 7 communications [CI10][CI21][CI22][CI24][CI27][CI28][CI29], et 12 livrables de contrats européens. Ces projets ont aussi abouti à la spécification du standard international ISO 10303-236 [RPE6] pour l'interopérabilité des modèles de catalogues de produits entre applications d'entreprises, en général, et plus particulièrement appliqué aux entreprises de l'industrie du meuble.

#### **2.2.1 Contexte**

La standardisation des échanges d'informations, en particulier relatives aux produits, favorise l'accès aux marchés, le contrôle des données de produits dans toutes les phases de leur cycle de vie et la diffusion rapide des catalogues de produits, à la fois aux détaillants et aux places de marché électroniques. Cependant, une des principales difficultés est que chaque entreprise est différente, avec des gammes de produits différentes et des modèles différents. En conséquence beaucoup d'entreprises développent (ou plutôt font développer) des systèmes ad-hoc et propriétaires. Or, et en particulier dans l'industrie du meuble, le marché est très fragmenté avec de nombreuses très petites entreprises, à la fois fabricant de meubles et détaillants, avec peu de ressources. La diversité des systèmes informatiques de gestion de l'information est une barrière limitant l'innovation et le développement de cette industrie. Une autre considération importante est que l'industrie de meubles devient de plus en plus internationale avec des détaillants achetant à des fabricants localisés dans toute l'Europe, si ce n'est sur d'autres continents. La spécification d'un standard international reconnu est ainsi une solution partielle pour améliorer l'échange d'information et donc les communications interentreprises, à condition que les développeurs d'applications d'entreprise s'y réfèrent. Depuis 1998, l'objectif de l'initiative FunStep (<http://www.funstep.org>) et des projets européens qui en sont issus et dans lesquels nous avons été impliqués concernent la spécification d'un tel standard (ISO 10303-236).

### 2.2.2 ISO 10303-236 (AP236)

Le principal résultat de ces projets concerne la spécification du standard STEP (Standard for the Exchange of Product model data) ISO 10303-236 « Furniture Catalog and Interior Design » [RPE6] pour l'interopérabilité des modèles de catalogue de produits dans l'industrie du meuble. L'originalité de ce projet (même si, en principe, cela ne devrait pas en être une), consiste au prototypage de nombreuses implémentations de ce standard dans des applications d'entreprises aussi diverses qu'un ERP, des logiciels de CAO de meubles, des logiciels d'aide à la conception d'espaces meublés, deux places de marché mettant à disposition des catalogues électroniques de meubles sur internet (B2C : Business to Customer) et une place de marché sur internet mettant en relation revendeurs et fabricants de meubles (B2B : Business to Business). Après le succès de ces prototypes, certains d'entre eux ont été industrialisés et sont maintenant utilisés par des entreprises partenaires de ces projets. De nouvelles entreprises, utilisatrices potentielles de ce standard, prennent actuellement contact avec le coordinateur du projet, pour étudier la mise en œuvre de cette interopérabilité. En ce sens, les partenaires du projet Smart-fm étudient la mise en place d'un projet source libre (de type Sourceforge) pour favoriser le travail collaboratif et les échanges de compétences dans le développement d'interfaces compatibles avec le standard.

Ces concepts et méthodologies développés dans ces projets ont, par ailleurs, pu être généralisés afin d'identifier l'aspect scientifique lié à la modélisation et l'interopérabilité du système d'information pour la traçabilité de produits, et a ainsi permis d'initier la thèse de Sergio Terzi [TH1] (voir Section 2.3 suivante).

## **2.3 *Interopérabilité B2M (Business To Manufacturing) pour la traçabilité des produits***

Cette section présente les résultats de la thèse de Sergio Terzi [TH1] en cotutelle avec le Politecnico di Milano (Italie), que j'ai co-dirigée avec le Prof. Gérard Morel et de le Prof. Marco Garetti. Cette recherche, impliquant aussi deux étudiants en DEA [MR8][MR9], a donné lieu à la participation à un ouvrage [OI1], dans un chapitre dirigé par Sergio Terzi, 6 communications [CI20][CI24][CI27][CI28][CI29][CN3] et 3 livrables de contrat européen [RPE9][RPE11][RPE12].

### 2.3.1 Contexte

La traçabilité des informations produites et consommées par les applications, et relatives aux produits, induit une nécessaire interopérabilité de l'information ainsi que des efforts de standardisation. Afin d'assurer ces échanges d'information, des travaux de recherche, basés sur la situation actuelle des systèmes d'information d'entreprise (qui manipulent l'information sur les produits), doit aboutir à la définition d'une vue holonique d'un modèle conceptuel orienté produit d'un système de production.

L'analyse des standards d'entreprise, mis en œuvre dans les applications logicielles relatives à la traçabilité, donne une première idée des éléments de construction d'un modèle de système d'information d'entreprise adapté à notre problématique.

De cette analyse, et plus particulièrement des éléments de base manipulés dans ces normes d'intégration impliquées le long du cycle de vie du produit, nous pouvons formaliser un meta-modèle du système d'information d'entreprise basé sur des

holons. Dans ce contexte, la deuxième partie de la thèse consiste, après une analyse des meta-modèles issus de standards dédiés à la modélisation des informations liées aux produits, en la définition d'un meta-modèle de la partie informationnelle permettant la traçabilité des produits le long de leur cycle de vie.

Une analyse succincte du paradigme PLM (Product Lifecycle Management) permet d'observer que :

- du point de vue de la stratégie d'organisation, une approche centrée sur le produit et sur les processus de production implique une re-ingénierie de modélisation de toutes les relations entre les ressources (personnels et équipements) impliquées dans les processus d'entreprise (Business Processes), orientés cycle de vie de produit, en tenant compte des allocations de tâches et la mesure de leur performance.
- du point de vue des technologies de l'information, la gestion de la production centrée sur le produit n'est autre qu'un problème d'intégration de base de données ou d'interopérabilité des applications. Les informations sur les produits et les processus sont dispersées dans divers systèmes d'information, qui, jusqu'ici, étaient isolés et non interopérables (par exemple un système PDM (Product Data Management) et un ERP (Enterprise Resource Planning) ou un MES (Manufacturing Execution System) (Browne, *et al.*, 1995) (Cette problématique fait l'objet de la thèse en cotutelle de Angela Tursi [TH3]). Les tendances actuelles concernent l'intégration de ces « îlots » dans un unique (même s'il est distribué) entrepôt de donnée intégré, afin d'assurer une utilisation plus large et plus efficace des informations relatives aux produits. Initialement, ces processus d'intégration étaient plutôt fermés, avec une instanciation à des suites logicielles propriétaires alors que, récemment, des efforts de standardisation ont débuté pour la formalisation de processus d'intégration ouverts.
- du point de vue architecture, une approche de gestion centrée sur le produit implique la gestion et la conception centralisée de plusieurs éléments :
  - Une infrastructure d'information, qui concerne la mise en œuvre de réseaux.
  - Une infrastructure de ressources qui concerne la conception et la gestion de tous les composants physiques impliqués le long du cycle de vie des produits et leur production (par exemple les machines, les usines, les personnels, les fournisseurs, les entrepôts, ...).
  - Un produit lui-même "infrastructure". En effet, un même produit peut devenir une ressource dont on pourra gérer directement la traçabilité dans son cycle de vie.

Comme mentionné précédemment relativement au dernier point de vue du paradigme PLM, une des questions principales relative au produit et à sa fabrication, avec une perspective plus large (tout au long de son cycle de vie), concerne la traçabilité de ses états et des informations qui lui sont liées.

### 2.3.2 Traçabilité et Interopérabilité des applications d'entreprises manufacturières

Le concept de "traçabilité" lié au produit ou à la fabrication a été défini dans les années 90 (Cheng and Simmons, 1990), quand des besoins industriels ont été mis

en avant lors de l'établissement de procédures ISO 9000. Généralement, la traçabilité des produits est la capacité d'un utilisateur (fabricant, fournisseur, vendeur,...) de tracer un produit dans le temps au travers de ses procédures de traitement (Jansen-Vullers, *et al.*, 2003). Physiquement, la traçabilité des produits consiste à maintenir des enregistrements informationnels de tous les matériaux, composants, processus opérants au long d'un cycle de vie défini (par exemple de l'achat des matières premières première à la vente des produits finis), en utilisant une identification codée de chaque instance de produit. La traçabilité des produits est intrinsèquement une question relative au paradigme PLM puisqu'elle est en relation avec une perspective organisationnelle (par exemple l'attribution de tâches pour les produits tracés), une perspective informationnelle (par exemple l'identification de l'information, son codage) et une perspective d'architecture (par exemple les systèmes physiques d'identification, de marquage). Ces perspectives sont, bien sûr, centrées sur le produit. La traçabilité des produits est l'une des questions centrales posée par la communauté PLM. Plusieurs approches technologiques existent, depuis le simple code à barres de suivi de produit, jusqu'aux systèmes avancés RFID (Radio Frequency IDentification) et aux systèmes micro électromécaniques (MEMS : Micro Mechatronics Systems), qui visent à transformer le produit lui-même en "produit intelligent", capable d'être pisté dans des systèmes de production et de coopérer automatiquement avec des ressources (McFarlane, *et al.*, 2003).

Cependant, la traçabilité des produits ne se cantonne pas au domaine manufacturier. C'est aussi une problématique présente dans d'autres domaines, de la gestion de la qualité (par exemple dans l'agroalimentaire (Moe, 1998)), à la gestion de la chaîne logistique (Kärkkäinen, *et al.*, 2003) au service après-vente et la maintenance, et à la conception des installations. Les technologies actuelles de mise en œuvre de la traçabilité concernent, particulièrement, l'identification des produits (même si l'on identifie souvent seulement le type de produit (Jansen-Vullers, *et al.*, 2003)) utilisant un système physique de codage (par exemple un code à barres, un code laser, ...). Toute l'information codée liée au "produit" est alors stockée dans une (ou plusieurs) base de données. En conséquence, il est nécessaire d'assurer une synchronisation entre le produit, lui-même, et l'information qui l'identifie. Ce processus de fusion d'information n'est pas toujours sans risque. Même s'il peut être déjà automatisé, des pannes sur le système d'information peuvent se produire pendant une transaction de recherche d'information. Afin de mettre en œuvre la traçabilité, une solution peut être identifiée par le concept holonique, où chaque produit peut être équipé d'un système de mémorisation du système d'information, par exemple basé sur la technologie RFID, afin (i) d'une part assurer le suivi et, (ii) d'autre part permettre une mise à disposition de l'information nécessaire et des services qui y sont associés.

Le produit peut ainsi être considéré comme un « produit intelligent" (McFarlane, *et al.*, 2003)[R13], capable d'échanger l'information (qui est mémorisée sur le produit lui-même), en temps réel, avec différentes ressources (par exemple des machines et des transports dans une usine, ou des camions et des base de données d'inventaire dans un entrepôt).

Certains auteurs (Marik and Pechoucek, 2001 ; Norrie and Brennan, 2002) définissent le paradigme d' « Holon » comme étant l'association d'un produit avec de l'information. Les processus manipulant ces Holons sont qualifiés de processus « holoniques ». Depuis 1993, le terme « holonique » a été adapté au monde de la fabrication, faisant ainsi émerger la communauté des systèmes de fabrication Holoniques (HMS : Holonic Manufacturing Systems) (Seidel and Mey, 1994). Dans

cette communauté, un HMS est un système autonome et coopératif pour transformer, transporter, stocker et/ou contrôler l'information et les objets physiques.

L'analyse des standards d'entreprise (Chen and Vernadat, 2004), mis en œuvre dans les applications logicielles relatives à la traçabilité donne une première idée des éléments de construction d'un modèle de système d'information d'entreprise adapté à notre problématique. L'une des conditions préliminaires pour le développement d'un modèle du système d'information pour la traçabilité des produits est d'étudier les standards existants modélisant les informations liées aux produits de l'entreprise. Sans être exhaustif, du fait du grand nombre de standards définissant les concepts de produit et d'information relative au produit, nous en avons étudié plusieurs, relatifs à l'intégration en entreprise, centrés sur le produit. L'analyse de ces standards, dans un contexte de traçabilité des produits, permet de formaliser les éléments de constructions dédiés à la phase de production de produits.

La structure de ce modèle, inspirée par la complexité du produit réel, est fractale; En fait un produit réel est réalisé à partir d'autres composants, qu'ils soient des matières premières ou des produits à assembler. Chacun de ces composants est lui-même la conséquence d'un processus de production. Il est donc, lui-même traçable. Le système d'information de traçabilité d'un produit inclut donc, de manière récursive (et donc fractale), les systèmes d'information de ses composants. Dans ce modèle, un Holon est défini en adoptant sa première définition philosophique. Il est ainsi formalisé comme une représentation de la partie physique liée aux « objets d'information » qui le caractérisent, en fonction de la phase du cycle de vie concernée. La contribution de la thèse est principalement axée sur la définition d'« objets d'information » correspondant à la partie informationnelle d'un Holon, et leurs relations.

La thèse propose un meta-modèle (Figure 10), qui formalise, dans le formalisme diagramme de classe UML, la structure générique du système d'information associé aux données de traçabilité des produits. Il a été instancié, dans la thèse de Sergio Terzi, à trois types d'entreprise, à la fois pour la traçabilité dite « arrière » ou « généalogique » qui assure la mémorisation de toute l' 'histoire' d'un produit que pour une traçabilité dite « avant » pour laquelle le produit, contient (ou référence) la liste ordonnée des opérations qu'il est supposé subir pour être fabriqué.

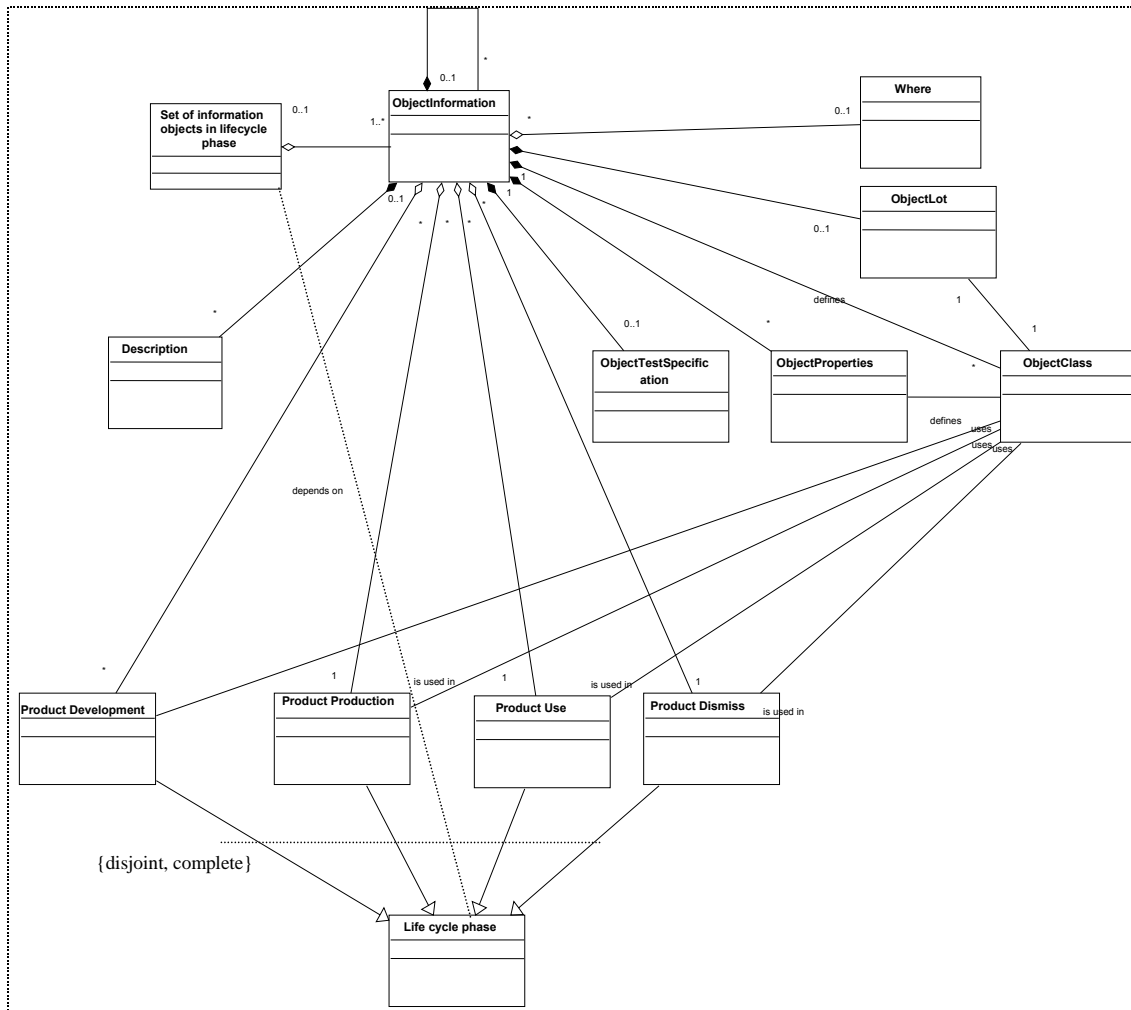


Figure 10 : Extrait du meta-modèle proposé dans [TH1]

## 2.4 Synthèse

Les produits (biens et services) sont les éléments centraux de l'entreprise. Ils sont ce pour quoi l'entreprise existe et assure une plus value financière. La modélisation des informations relatives à ces produits est donc un élément important pour l'interopérabilité des applications, voire leur intégration, que ce soit par la définition des données techniques de ces produits pour l'échange de modèles entre fabricants et sous-traitants, ou par la définition des informations, manipulés par tous processus et applications, le long du cycle de vie des produits, pour assurer leur traçabilité « avant » et « arrière ». Par rapport à notre proposition de cadre de classification, ces processus d'ingénierie de l'interopérabilité se situent au niveau PIM (cf MDA) et aux niveaux 2 et partiellement 3 des cadres LISI, LCIM et OIM (Tableau 3). Ils procèdent d'une interopérabilité que nous qualifierons de « dirigée par les modèles » car les échanges de données et de modèles traversent des niveaux hiérarchiques des entreprises concernées mais nécessitent tout de même un alignement sémantique de leurs modèles pour être interprétables par tous. La validation partielle de ces modèles a donné lieu, pour chacun d'eux, à une implémentation industrielle assurant ainsi la preuve du concept.

## 3. META-MODELES ET MODELES DE PROCESSUS

---

### 3.1 *Contexte*

Les tendances actuelles des entreprises productrices de biens et de services sont clairement tournées vers un besoin croissant d'amélioration de la gestion de l'entreprise et la mise en œuvre de changements opérationnels afin de faire face à une compétitivité accrue et des conditions de marché très fluctuantes (Vernadat, 1996).

Afin de réduire les coûts et les délais de production de biens, ainsi que d'améliorer la qualité (et l'offre) de services ou de produits, les entreprises mettent en place de nouveaux paradigmes d'organisation, par exemple les concepts organisationnels d'Entreprise Etendue (EE) pour la coopération inter-entreprise et d'Entreprise Virtuelle (EV) pour la collaboration ponctuelle dans le cadre d'un projet commun. Ces organisations impliquent des échanges d'information et de connaissances, de matières et de services, et d'argent.

Cette situation pose un certain nombre de problèmes d'intégration (et d'interopérabilité) que les entreprises doivent prendre en compte : intégration des marchés, intégration entre sites de développement de nouveaux produits et sites de production, intégration entre fournisseurs et fabricants, intégration entre le bureau des méthodes et l'atelier de production, intégration entre différents fournisseurs de composants matériels et développeurs d'une solution logicielle (Villa, 2002). L'Intégration d'Entreprise (IE) n'est donc plus seulement un problème d'interfaçage entre composants matériels et applications logicielles, mais nécessite aussi une intégration des métiers, visant une utilisation rationnelle des ressources, nouvelles ou existantes, de l'entreprise, afin d'atteindre, au mieux, les objectifs économiques d'entreprise. Afin de maîtriser l'inévitable complexité de ces organisations, les objets à intégrer et à coordonner doivent être modélisés. Ainsi, la modélisation d'entreprise devient clairement un préalable à l'intégration d'entreprise.

Selon (Vernadat, 1996), la modélisation d'entreprise est l'ensemble des activités et des processus mis en œuvre pour modéliser les différentes parties d'une entreprise avec une finalité de modélisation donnée. La modélisation d'entreprise peut aussi être définie comme l'art d' « externaliser » la connaissance de l'entreprise, c'est-à-dire représenter l'entreprise en termes organisationnel et opérationnel (par exemple ses processus, son comportement, ses activités, ses flux d'informations, d'objets, de matières, ses ressources, ses unités organisationnelles, son infrastructure et son architecture). La finalité d'un tel modèle est d'explicitier ce qui apporte une plus-value ou assure un partage de la connaissance entre applications et/ou utilisateurs. Le but principal d'un tel modèle d'entreprise est non seulement son utilisation pour une meilleure intégration des entreprises, mais aussi pour permettre leur analyse plus fine, et plus particulièrement, pour représenter et comprendre comment l'entreprise fonctionne afin de capitaliser ses connaissances et son savoir-faire pour une utilisation ultérieure (Touzi, et al, 2006). Ce modèle peut être employé pour la conception (ou la re-conception) d'une partie de l'entreprise (par exemple par une analyse économique, une analyse de l'organisation, une analyse qualitative ou

quantitative de ses processus, ...). Il peut aussi être utilisé pour la simulation du comportement d'une partie de l'entreprise, pour aider à la prise de décisions concernant l'organisation ou la production, ou pour commander, coordonner et surveiller tout ou parties de l'activité de l'entreprise.

Les concepts sous-jacents de la modélisation d'entreprise ont vu le jour aux Etats-Unis au début des années 80 dans le cadre de l'initiative CIM (Computer Integrated Manufacturing), et ont émergé lors de grands projets (par exemple ICAM ou CAM-I). Au milieu des années 80, l'Europe a initié plusieurs projets, donnant naissance à plusieurs langages dédiés à la modélisation d'entreprise (notamment GRAI/GIM (Doumeingts, *et al.*, 1998) et CIMOSA (AMICE, 1993), (Kosanke, *et al.*, 1999)). En conséquence, dans les années 90, de nombreux **Environnement Logiciel de Modélisation d'Entreprise (ELME)** supportant ces langages ont vu le jour (par exemple ARIS-Toolset, FirstSTEP, METIS, Enterprise Modeller, KBSI, CimTool, MO<sup>2</sup>GO, GraiTool et d'autres, sans être exhaustif). Chaque ELME implémente son propre langage et spécifie un modèle d'entreprise particulier [RPE14]. Le paysage industriel actuel dans ce domaine montre qu'il existe de nombreuses entreprises qui utilisent, pour leur processus de modélisation, des outils maison ou qui acquièrent différents outils supportant, chacun différents types d'analyse de leur processus d'entreprise.

Les Modèles d'Entreprise (MEs) favorisent à la fois l'intégration d'entreprise et son analyse critique. En ce sens, la modélisation d'entreprise se base sur les phases et les tâches issues du contexte méthodologique de l'ingénierie d'entreprise. Elle met en œuvre les concepts fondamentaux définis au sein d'architectures d'entreprise de référence telles que celles définies entre autres par PERA (William, *et al.*, 1994) et GERAM (GERAM, 1997 ; ISO 15745, 2003).

Le domaine de la modélisation d'entreprise est également une discipline d'ingénierie étroitement liées aux systèmes de production. En tant que telle, elle nécessite l'utilisation conjointe d'environnements logiciels de modélisation, de langages de modélisation dédiés et la mise en œuvre de méthodologies spécifiques.

Etant donné que la majeure partie des ressources utilisées dans les entreprises modernes sont automatisées, le problème de l'intégration d'entreprise trouve souvent une solution par la mise en œuvre de systèmes Workflow, chacun avec son environnement de modélisation propriétaire (Action Workflow, COSA, FlowMark, Lotus Notes, Teamware Flow, Ensemble, WorkParty, ...) et en particulier, à la fin des années 90, par la mise en œuvre des concepts d'EAI (« Enterprise Application Integration »). Dans les systèmes automatisés, la situation est actuellement bien pire, en raison, principalement, de l'apparition de systèmes basés sur Internet qui promettent, à tort, de résoudre tous les problèmes d'interopérabilité et d'intégration grâce à la puissance de l'infrastructure d'Internet, mais qui n'offre en réalité qu'une structure d'accueil basé sur des standards tels que XML qui ne répondent pas, directement au problème posé.

Le développement intensif d'outils logiciels donne donc lieu à une « Tour de Babel » dans laquelle tous les outils, bien qu'offrant de plus en plus de fonctionnalités, ne peuvent inter-opérer car ils sont incapables de communiquer et d'échanger les modèles qu'ils produisent. C'est un frein à la diffusion, l'acceptation et la large



diffusion des technologies de modélisation d'entreprise car cette situation empêche les entreprises de capitaliser leurs connaissances. Cette situation ne favorise pas une véritable **intégration d'entreprise, une interopérabilité des applications et un partage de la connaissance métier.**

Dans ce contexte, nous avons travaillé à la définition d'un langage unifié de modélisation d'entreprise (UEML) comme langage pivot pour l'échange de modèles entre applications d'entreprise. La section 3.2 présente succinctement ces résultats. Ces travaux ont ensuite été étendus et adaptés au domaine de l'entreprise manufacturière par la définition, dans la thèse de Salah Baïna [TH2] (section 3.3), d'une méthodologie de modélisation facilitant l'interopérabilité entre les niveaux « gestion d'entreprise » et production, mettant en œuvre le concept d'holon, comme éléments de construction favorisant la synchronisation des informations relatives au produit tout au long de ce cycle de vie.

### **3.2 Langage Unifié de Modélisation d'Entreprise (UEML)**

Nous avons participé à ces travaux dans le cadre du réseau thématique UEML [PE6], qui ont donné lieu à quatre livrables du projet [RPE14][RPE15][RPE16][RPE17], deux communications invitées [INV1][INV3] et trois communications internationales [CI17][CI23][CI25]. Ces travaux ont aussi servi de base initiale au post-doctorat de Petia Wohed [POD1] qui a donné lieu à une communication [CI32]. Ces travaux ont aussi été poursuivis, dans un contexte plus général, par mon animation du groupe de travail « UEML for Enterprise Applications Interoperability » du comité technique TC5.3 « Enterprise Integration and Networking » de l'IFAC, dans lequel j'ai été nommé vice-président en 2003. Dans ce cadre, j'ai aussi organisé une session au symposium IFAC INCOM2004 [SES3].

Le contenu de cette section est adapté de [INV3].

#### **3.2.1 Etat de l'art en Modelisation d'Entreprise**

Il existe de nombreuses approches complémentaires pour la modélisation d'entreprise (incluant des méthodologies, des langages, des outils). Le projet UEML a réalisé un état de l'art de ces approches [RPE14].

Ces différentes approches couvrent, chacune, différents sous-ensembles des éléments requis lors du processus d'ingénierie de l'entreprise. Par exemple, le standard expérimental ENV 12204 (CEN, 1995) en cours de normalisation conjointe CEN et ISO (ISO/DIS 19440, 2006) propose des constructions de langage (constructs) standards pour la définition d'une modèle d'entreprise mais n'est actuellement mis en œuvre par aucun outil support. GERAM (1997) et le standard ISO/IEC 15288 (2002) définissent des guides méthodologiques pour l'ingénierie d'entreprise mais ne proposent aucun langage de modélisation adapté. Le WfMC (Workflow Management Coalition) spécifie le langage de modélisation WPD (WfMC, 1998) mais n'apporte aucune approche méthodologique pour son utilisation dans la modélisation de processus d'entreprise.

Ces approches couvrent aussi différentes parties du cycle de vie des entreprises. Par exemple, le WfMC se focalise sur la conception de logiciels alors que des approches telles que CIMOSA se concentrent principalement sur la définition de besoins fonctionnels. De plus, certaines approches relient les modèles d'entreprise

aux outils de gestion opérationnels. Cette relation permet l'utilisation de ces modèles pour la commande de processus (par exemple, dans l'approche WfMC, les modèles WPDL sont utilisés par un moteur de Workflow pour surveiller l'exécution des travaux en cours). Les modèles peuvent aussi être en relation avec des progiciels de gestion intégrée d'entreprise tels que les ERP (Enterprise Resource Planning) (par exemple ARIS Toolset est intégré au portail mySAP.com). D'autres approches s'intéressent uniquement à la modélisation pour comprendre et analyser les processus d'entreprise mais ne fournissent aucuns liens explicites avec le niveau opérationnel ou avec d'autres modèles du cycle de vie.

Les approches de modélisation d'entreprise peuvent aussi être très différentes quant à leurs objectifs initiaux. A titre d'exemple, nous pouvons comparer les objectifs de modélisation des langages IEM (Mertins and Jochem, 1999) et GRAI. IEM permet une représentation de diagrammes de processus d'entreprise en apportant des concepts spécifiquement adaptés à l'évaluation des procédures de gestion de la qualité. Mais ce langage ne peut pas être directement utilisé pour définir une implémentation opérationnelle de ces processus. En fait, pour ce qui concerne la gestion de la qualité, l'implémentation des processus n'est pas nécessairement une finalité. La spécification doit simplement être suffisamment formelle pour déterminer si tel ou tel processus est conforme aux procédures qualités de l'entreprise. Ce dernier objectif nécessite, par exemple, une spécification précise des sorties de chaque état de processus et leur utilisation en entrée d'autres états de processus. D'un autre côté, l'objectif principal d'un modèle GRAI et de sa méthodologie associée est de définir le système de contrôle-commande d'une entreprise, au niveau décisionnel. Cela nécessite une parfaite compréhension des relations entre processus d'entreprise à tous les niveaux hiérarchiques de décision (stratégique, tactique et opérationnel). Les procédures qualité ne peuvent garantir que l'entreprise possède de bonnes performances mais seulement que les produits et processus sont conformes à des critères de qualité, même si sa chaîne décisionnelle essaie de garantir une certaine performance en tenant compte des données du marché.

La tendance actuelle dans les approches de modélisation d'entreprise cherche à combiner, de manière plus ou moins intégrée, différents langages de base afin de créer plusieurs vues d'un même modèle (par exemple CIMOSA, GRAI/GIM, ARIS, ...). Une telle approche combinée permet de tirer avantage des bénéfices de chaque langage de base et offre au modélisateur les moyens de représenter de manière plus précise et plus complète ses besoins face aux objectifs de son modèle. Des vues de modèles décrites avec des langages de base complètement distincts doivent, d'une manière ou d'une autre, être corrélées. Pour ce faire, *les langages, eux-mêmes, doivent pouvoir être intégrés, ou être interopérables*. Ce besoin d'intégration de différents langages de modélisation et des modèles qu'ils permettent de créer a aussi été mis en avant des les domaines tels que *les méthodes formelles* pour aboutir à des solutions efficaces et pragmatiques dans la réalisation de problèmes complexes.

Cependant, actuellement, l'intégration de plusieurs langages de base (ou vues) est, dans la plupart des cas, mise en œuvre dans un même outil logiciel support (c'est-à-dire par une approche propriétaire ayant des recouvrements non nul avec d'autres approches). Aucun outil (au moins dans le domaine de la modélisation d'entreprise) ne met en œuvre actuellement une interopérabilité de ses propres modèles avec des modèles créés à l'aide d'autres langages supportés par d'autres outils.

### 3.2.2 Objectifs d'UEML

La situation actuelle du domaine de la modélisation décrite ci-dessus montre clairement un besoin pour les entreprises de recourir à plusieurs LMEs et outils pour atteindre une meilleure intégration à l'intérieur même de l'organisation. L'efficacité de l'intégration dépendra directement de la possibilité de coordonner ou intégrer un ensemble de modèles qui représentent différentes vues de l'entreprise et qui permettent de remplir différents objectifs. Ce besoin est encore accru lorsqu'une entreprise participe à un réseau d'entreprises. En effet, dans ce cas, chaque entreprise possédant son vécu propre, le nombre de langages et de modèles co-existants risque d'augmenter considérablement. Si ces entreprises veulent échanger ou intégrer des MEs (ce qui sera nécessaire si elles veulent collaborer), elles devront probablement faire inter-opérer leurs ELMES, et dans tous les cas, partager un langage commun pour permettre cet échange.

Plusieurs solutions au problème d'hétérogénéité des langages et des modèles peuvent être envisagées.

La première consisterait à définir un *langage unique complètement intégré* qui intègre tous les langages utilisés pour toutes les vues nécessaires dans l'entreprise ou dans le réseau. Dans cette hypothèse, les modèles exprimés dans les langages initiaux pourraient être complètement réécrits dans ce langage intégré, étant donné qu'il contient un sur ensemble des concepts nécessaires. Ce langage, qui devrait alors permettre la création de modèles combinant tous les aspects de la réalité d'une entreprise est un mythe inaccessible et un environnement logiciel supportant cet hypothétique langage serait trop complexe à développer et à utiliser.

Une seconde solution consiste à définir pour chaque couple d'ELMES qui doivent échanger des modèles, un traducteur qui est capable de transformer un modèle exprimé dans le langage d'un ELME dans celui du second (et éventuellement en sens inverse). Ces traducteurs sont représentés par des flèches bidirectionnelles sur la Figure 11), qui montre la combinaison de LMEs ne couvrant chacun qu'une partie des aspects de l'entreprise (MOOGO couvre la surveillance des ressources, e-MAGIM, l'aide à la décision et METIS la planification d'entreprise).

Lorsqu'une entreprise participe à un réseau d'entreprises, le nombre de LMEs co-existants risque d'augmenter considérablement. Par conséquent, *la traduction de modèles entre couples de langages (« traductions pair-à-pair »)*, bien que possible, engendre des difficultés à maintenir la cohérence globale du fait de l'absence évidente d'une *vision globale, unique et cohérente* de la connaissance partagée sur l'entreprises ou le réseau.

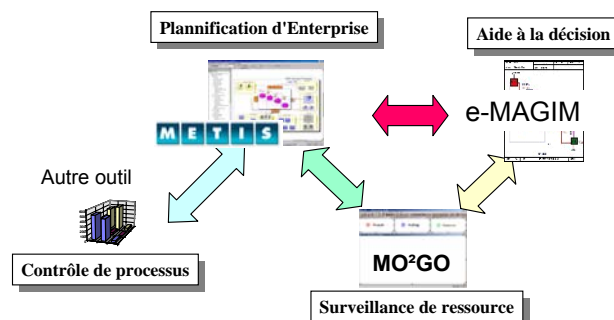


Figure 11 : Mécanismes de traduction pair-à-pair

Par conséquent, afin de réduire considérablement le nombre d'interfaces (traductions ou échanges pair-à-pair) nécessaires à un ensemble d'entreprises pour communiquer, et pour accroître la cohérence globale, il devient fort utile de définir un langage intermédiaire fédérateur (représenté à la Figure 12) qui permettrait de représenter une vision unique, cohérente et modulaire de la connaissance partagée (ou intégrée) par l'ensemble des entreprises. Un tel langage (ici UEML) ne se substitue pas aux langages de modélisation existants mais fournit une aide effective pour *la traduction et l'intégration de modèles*. Par conséquent, *des mécanismes standard d'échange* de et vers les LMEs existants devraient être associés à un tel UEML. De cette façon, UEML permettra aux entreprises de garder leurs propres LMEs sans s'imposer comme langage unique.

Ce langage « pivot » devrait être extensible, de manière contrôlée, par un ensemble limité de constructions de langage.

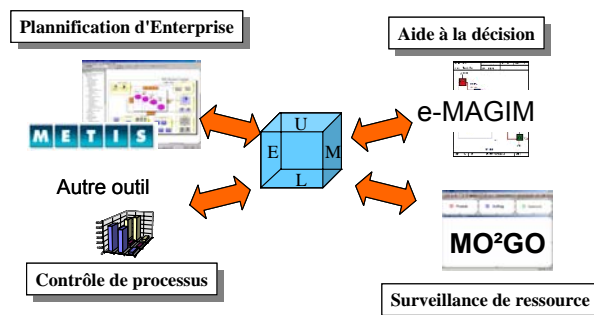


Figure 12 : Traductions des MEs par un UEML

Voici une liste partielle des problèmes métiers concrets pour lesquels un tel UEML pourrait jouer un rôle central :

- L'intégration de systèmes d'information qui renferment de manière fragmentée et non partagée de la connaissance sur l'entreprise;
- La réalisation d'une coordination des processus métiers;
- Le dégagement d'une vue commune des opérations de l'entreprise;
- Une meilleure interopérabilité des outils de modélisation et de gestion de processus;
- L'élimination de l'insuffisance de couverture des LMEs de l'ensemble des vues nécessaires à la représentation de l'entreprise;
- La possibilité de fournir des représentations visuelles diverses d'un ME ;
- L'échange de connaissance parmi les partenaires d'un réseau d'entreprise ;
- La préparation d'une interopérabilité organisationnelle dans un réseau d'entreprise.

### 3.2.3 Le projet UEML

Nous avons participé, en collaboration avec l'INRIA Lorraine, au projet UEML [PE6]. Ce projet a été lancé pour contribuer à la solution des problèmes engendrés par la multiplicité des LMEs. Il a débuté en mars 2002 et s'est terminé en juin 2003. L'objectif poursuivi à moyen terme est de définir un noyau d'UEML qui servirait de *langage pivot* entre plusieurs ELMs.

Ce langage fournira à la communauté de la modélisation d'entreprise :

- Un langage commun et éventuellement graphique, qui pourra être utilisé dans la plupart des ELMEs commerciaux ;
- Des mécanismes standardisés permettant le partage et l'échange de modèles entre projets, de manière à surmonter les limites des outils et à réduire la dépendance envers ceux-ci ;

Afin de préparer cet objectif à long terme, un premier objectif du projet a été de créer et d'animer un groupe thématique international dont le but était de :

- Créer un consensus européen à propos d'un noyau de langage et faciliter l'interopérabilité, dans le cadre des efforts actuels de standardisation dans ce domaine ;
- Construire un portail de démonstration proposant des services et du contenu afin d'offrir un support à la création et la validation de ce langage, ainsi qu'à sa promotion.

Le premier objectif du projet fut d'analyser le potentiel de marché d'UEML, de définir les spécifications précises d'un embryon de ce langage et de démontrer et diffuser ses concepts.

#### 3.2.4 Enjeux pour la définition d'UEML

Pour définir un UEML qui serve de langage pivot entre plusieurs LMEs, une réponse doit être apportée au moins aux problèmes suivants:

- Les différences entre les syntaxes (concrètes et abstraites) des différents LMEs: même dans un domaine métier unique, des différences syntaxiques existent entre LMEs. Deux entreprises pourraient, par exemple, utiliser respectivement IEM (Mertins and Jochem, 1999) et EEML (EXTERNAL, 2000).
- La différence de couverture et de pouvoir expressif des LMEs: les LMEs se concentrent sur des aspects différents et répondent à des objectifs différents.
- La sémantique imprécise ou sous spécifiée des constructions du langage: en effet, les LMEs sont utilisés de façon conjointe à une méthodologie qui permet d'utiliser les constructions du langage de manière effective pour créer des modèles (qui se substitue à une sémantique bien définie).

Ces problèmes se manifestent surtout lorsque des modèles existent déjà et ont été créés indépendamment l'un de l'autre. Cependant, des problèmes similaires (bien que moins aigus) surviennent lorsque des modèles n'existent pas à priori. En effet, dans certaines situations (Brinkkemper, *et al.*, 1999), plusieurs langages et outils différents pour créer directement des modèles intégrés peuvent être utilisés. C'est particulièrement le cas lorsque de nouvelles méthodologies sont définies: dans ce cas, l'utilisation combinée de plusieurs langages et outils permet des analyses plus poussées et permet d'obtenir des modèles plus précis.

Par ailleurs, même lorsqu'un LME unique est utilisé dans des buts variés ou différents, ou par le fait même de la nature subjective de l'activité de modélisation, différents modèles produits dans ce seul LME restent difficiles à intégrer. Cette difficulté provient de problèmes bien connus dans la communauté des bases de

données tels que l'usage de synonymes et d'homonymes et d'autres problèmes additionnels liés aux schémas de données semi-structurées.

UEML ne constitue donc qu'une partie de la solution nécessaire pour permettre une traduction et une intégration effective de MEs. En effet, il fournit un moyen d'attaquer le problème *au niveau du langage*. Afin de comprendre correctement les éléments de modèles qui sont mis en commun au moyen de UEML, de l'information supplémentaire est nécessaire. Ce besoin est lié à la distinction de ces deux différents niveaux d'instanciation (langage/modèle).

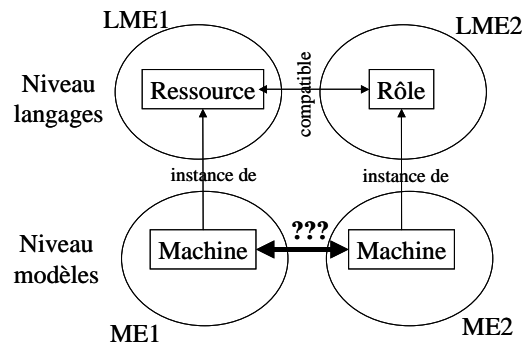


Figure 13 : Niveaux de relations dans le cas d'utilisation de plusieurs LMEs

Par exemple, sur la Figure 13, « Machine » est aussi bien un élément du modèle ME1 que du modèle ME2. Si au niveau des langages, « Ressource » et « Rôle » sont, d'une certaine façon, compatibles, les deux éléments de modèle « Machine » peuvent être comparés. Ils pourraient correspondre à des choses distinctes et incompatibles (par exemple, le premier pourrait correspondre à une occurrence physique de machine, alors que le second correspondrait à un type de machines). Cependant, « Ressource » et « Rôle » avaient été identifiés comme des constructions compatibles au niveau des langages.

Une compréhension claire des *liens sémantiques* existant entre les modèles est un pré-requis pour que l'échange ou l'interopérabilité de modèles grâce à un langage commun ait du sens. Cette compréhension est fondamentale car sans elle, un modèle échangé pourrait être compris d'une façon complètement différente par l'outil qui le reçoit, et par conséquent interprété de façon erronée.

Ces deux niveaux de problèmes (le premier, principalement liés aux *langages* et le second, principalement liée aux *modèles*) doivent être analysés et résolus séparément, car chacun d'eux recèle un nombre important de problèmes complexes et différents, et car chacun d'eux a une portée différente.

### 3.2.4.1 Syntaxe, sémantique et mécanismes d'échange

PSL (2002) et ISO/DIS 19440 (2006) sont deux des principaux travaux dont l'objectif est la définition d'un noyau de langage commun pour la modélisation d'entreprise. Cependant, ces efforts ne fournissent pas, à l'heure actuelle, une solution satisfaisante ni aux problèmes cruciaux, ni aux problèmes pratiques. PSL propose une approche basée sur la logique mais ne règle pas clairement la question de base de *mécanismes d'échange* entre un langage quelconque et PSL lui-même. Le mécanisme d'échange devrait exprimer par exemple que le concept d'*Activité*

appartenant à un LME correspond au concept d'*Activité* en PSL. Puisqu'il est un langage logique déclaratif, PSL permet de découvrir des *incohérences* entre des modèles exprimés dans des LMEs distincts. Cependant, il n'offre pas de solution pour empêcher ni résoudre ces incohérences. Le standard CEN/ISO 19440 est simplement un ensemble de concepts utiles pour comprendre le domaine de la modélisation d'entreprise et il définit l'ensemble des choses qu'un LME doit permettre de représenter. Cependant, sa syntaxe n'est pas définie suffisamment rigoureusement pour qu'il puisse servir de *format d'échange* entre des outils de modélisation. Pour résoudre ce problème, le CEN TC310/WG1 a proposé une nouvelle tâche dont l'objectif est la formalisation des constructions du langage pour la modélisation d'entreprise.

Pour qu'UEML soit utile, il sera donc nécessaire que soient définis *de façon précise* (i) sa *syntaxe* et (ii) des *mécanismes d'échange* (éventuellement *standardisés*) entre un certain nombre de LMEs et UEML. Nous pensons que la définition des mécanismes d'échange est importante, mais qu'elle peut être réalisée de manière relativement *indépendante* de la définition d'UEML lui-même.

Dans le cadre du Post-Doc de Petia Wohed [POD1], que j'ai encadré, nous avons tenté de montrer les relations possibles entre UEML et le standard ISO 19440 [CI32].

Comment s'y prendre concrètement pour construire un tel UEML et définir des mécanismes d'échange corrects entre LMEs ? Il y a plusieurs possibilités, mais il convient de tenir compte des éléments importants suivants :

- a. La plupart des LMEs ne sont pas équipés d'une définition formelle de la sémantique de leurs constructions. Par conséquent, il est difficile, voir peut-être même impossible, d'affirmer et de prouver formellement qu'une construction d'un langage est équivalente à une construction d'un autre langage (c'est à dire qu'ils sont liés dans le mécanisme d'échange défini par une relation préservant la sémantique) ;
- b. Lorsque des LMEs sont équipés d'une définition formelle de la sémantique de leurs constructions, les relations préservant la sémantique ne sont pas uniques. La seule différence avec le cas précédent est que dans le cas présent, il peut être possible (du moins théoriquement) de prouver que ces relations préservent effectivement la sémantique ;
- c. Même si des relations préservant la sémantique ont été formellement prouvées, cela n'est pas suffisant pour affirmer que ces relations sont valides (ou non valides) en termes du domaine de modélisation. Ces preuves ne permettent en effet pas d'affirmer que les deux constructions représentent les mêmes phénomènes du domaine de modélisation (ce qui est parfois appelé la « sémantique monde-réel » d'un langage (Ushlod, 2003)).
- d. Toute relation préservant la sémantique doit être compatible avec les mécanismes concrets qui permettent de gérer les relations existant entre des modèles distincts, une fois que celles-ci ont été définies. Ces mécanismes peuvent prendre la forme, par exemple, de traducteurs de modèles ou de mises à jour automatiques de modèles en cas de modification d'une partie de modèle équivalent.

Il résulte des points ci-dessus qu'UEML sera nécessairement le résultat de *choix raisonnables* à propos des relations identifiées entre les LMEs. Ces choix pourront

évoluer par la suite, car les relations définies pourraient changer ou de nouvelles relations pourraient être définies (aussi bien avec des LMEs déjà mis en relation avec UEML qu'avec de nouveaux LMEs). Par conséquent, il est important de bien identifier et de documenter chacun de ces choix, dans la spécification d'UEML. Pour cette raison, *une stratégie pour UEML*, fournissant un contexte bien défini pour faire des choix à propos d'UEML, doit être définie. Les principes qui ont présidé sa définition sont décrits dans la section 3.2.5.

#### 3.2.4.2 Le besoin de méta-modélisation

Afin de comprendre le lien existant entre différents langages, une *méta-modélisation* est nécessaire. La méta-modélisation permet la définition de la *syntaxe dite « abstraite » d'un langage*<sup>6</sup>. Le produit de l'activité de méta-modélisation est habituellement appelé *méta-modèle*. Les méta-modèles doivent être définis en utilisant une *technique de méta-modélisation* (c'est à dire des langages pour créer des méta-modèles). Des approches telles que XML (DTDs ou Schémas), MOF ou Telos peuvent être utilisées. Ces techniques sont *indépendantes du contenu* (génériques et applicables pour la définition de n'importe quel langage). D'autres techniques de méta-modélisation sont *dépendantes du contenu* (et parfois spécifiques à un domaine). Par exemple, XMI est un format d'échange en XML basé sur le méta-modèle d'UML (UML, 2003) conçu pour permettre l'échange de modèles UML.

Actuellement, plusieurs langages et outils de méta-modélisation existent, mais aucun ne cible spécifiquement le domaine de la définition des LMEs. La raison en est que ces langages de méta-modélisation ont la plupart du temps été développés pour concevoir et implémenter des Systèmes d'Informations, des Bases de Connaissance et des environnements informatiques qui permettent de « programmer » des méta-modèles.

#### 3.2.4.3 Définition de UEML: points clés

Etant un LME, UEML est associé à une structure (définissant sa syntaxe abstraite), représentée par un ensemble de constructions du langage (constructs), des liens entre eux et, pour chaque construction du langage, une signification (sa sémantique (Berio and Petit, 2003)). Lors de la traduction de la connaissance représentée par un LME dans un autre LME, il est important de définir une certaine similarité entre les constructions qu'on retrouve dans chaque langage. Sur cette base, nous pouvons affirmer que UEML doit comprendre au moins les constructions qui sont communes aux LME les plus représentatifs. UEML doit permettre de maîtriser les problèmes énumérés dans la section 3.2.4, notamment au niveau du langage.

#### ***Différences entre les syntaxes (abstraites) des différents langages***

UEML est fondé sur une structure qui doit être explicitement partagée, et exprimée à travers un méta-modèle, qui peut prendre la forme d'un modèle des classes (et par exemple, un modèle de classes UML) ;

#### ***Couverture et expressivité des LME***

---

<sup>6</sup> Un méta-modèle pourrait aussi être utilisé pour définir tout ou une partie de la sémantique du langage. Cependant, cette pratique n'est pas recommandée.



La décision à ce sujet doit être prise en fonction de la connaissance que l'on veut pouvoir partager avec UEML ; en effet, on pourrait définir un UEML à travers l'équation suivante :

$$\text{UEML}^7 = \text{Concepts Communs} + (\text{quelques}) \text{ Concepts Non Communs} ;$$

Cette équation représente bien un UEML comme étant une composante fédératrice, à savoir une composante qui contient ce qui est partagé entre plusieurs composantes (voir section 3.2.4, étape 4).

**Sémantique sous-spécifiée ou imprécise des constructions du langage**

Il s'agit du problème le plus complexe et en relation avec la définition des concepts communs. Une partie de cette complexité vient de la façon d'associer la sémantique même à chaque construction du langage dans un LME (à savoir le langage naturel qui est ambigu). L'interprétation des constructions du langage est alors toujours vague et très dépendante du contexte et de la personne lisant ou écrivant le texte décrivant la sémantique. Par conséquence, l'utilisation de ces textes pour trouver les relations sémantiques entre constructions dans des langages différents est plutôt difficile et aussi subjective. Cependant, l'intégration de bases de données, suggère de se baser sur des exemples (à savoir, les données, les instances d'entités, données contenues dans les tables relationnelles, etc) comme indices afin d'identifier et de vérifier les « relations intensionnelles entre concepts ». Comme l'indique le Tableau 4, une analogie peut être faite entre le domaine des la modélisation d'entreprise et des LME et celui de bases de données (Petit, 2002 ; Parent and Spaccapietra, 2000). Sur labase de cette analogie, on pourra réutiliser les pratiques et solutions proposées dans la théorie de l'intégration de bases de données pour la définition de UEML.

| Domaine bases des données    | Domaine LME      | Exemples d'objet, de modèles et de meta-modèles                        |
|------------------------------|------------------|--|
| Données (instances)          | Objets de modèle | "Mount", "Robin", "Employee"   |
| Base des données             | Modèle           | {"Mount", "Dismount", "Mechanical Part", "Employee", "Robin", "Edgar"} |
| Schéma d'une base de données | Meta-modèle      | Activity, Role, ObjectClass, Object                                    |

Tableau 4 : Analogie entre les domaines de LME et des bases des données

Suivant les commentaires ci-dessus, dans le projet UEML, nous avons défini un scénario complexe (une étude de cas) qui a été représenté dans trois modèles (qui comprennent chacun un ensemble d'objets de modèle et des liens entre ces objets) représentant une même situation réelle dans trois LME différents (à savoir GRAI, EEML, IEM). Ce scénario joue le rôle des données. Un meta-modèle a été défini sous forme d'un modèle de classes UML pour chacun des ces langages. Ces méta-modèles jouent le rôle des schémas d'une base des données à intégrer. Par

<sup>7</sup> Dans cette section, nous préférons bien distinguer entre la construction du langage (construct) et le concept sous-jacent à cette construction : en effet, ce concept fait plutôt référence à la signification de la construction du langage; pour apprécier cette différence, il suffit de noter que deux constructions distinctes d'un langage peuvent être associées au même concept.

analogie avec l'intégration des schémas dans les bases de données, nous avons donc comparé les meta-modèles sur la base des objets de modèle faisant partie des modèles du scénario. Lors de la comparaison des deux concepts C1 et C2, cela nous a permis de les classer dans quatre types de correspondances (ou relations) sémantiques<sup>8</sup> :

- $C1 = C2$
- $C1 \supseteq C2$
- $C1 \subseteq C2$
- sinon<sup>9</sup>,  $C1 \cap C2 \neq \emptyset$ .

Par exemple, la première correspondance sémantique peut être lue comme : en regardant les modèles disponibles, représentés dans les langages LME1 et LME2, les objets de modèles créés en utilisant le concept C1 sont aussi représentés dans le modèle décrit en LME2 en utilisant le concept C2 et vice-versa.

D'une manière générale, un concept commun C peut être introduit si  $C1 \cap C2 \neq \emptyset$  ; dans ce cas, il est possible de mieux caractériser la correspondance sémantique existant entre C1 et C2, en écrivant une équation se basant sur deux prédicats  $\Phi_1$  et  $\Phi_2$  tels que :

$$\Phi_1(C1) \rho \Phi_2(C2) \quad (1) \text{ où } \rho \text{ est '}' \text{ ou '}' \supseteq \text{' ou '}' \subseteq \text{'}$$

Le type d'équation (1) se retrouve aussi dans les approches *d'intégration des données* « pair-à-pair » et les deux prédicats sont ainsi nommés « mapping » [13]. Sans perte de généralité, un concept commun C est défini à travers un ensemble des correspondances sémantiques, caractéristique de *l'approche GLAV* (GLobal As View) (Calvanese, *et al.*, 2002), dans la littérature sur l'intégration des données :

$$C \supseteq \Phi_1(C1) \quad (2)$$

$$C \supseteq \Phi_2(C2) \quad (3)$$

Ces deux équations permettent de définir C comme la meilleure approximation de  $\Phi_1(C1)$  et  $\Phi_2(C2)$ . Cette approximation devient la plus proche de  $\Phi_1(C1)$  et  $\Phi_2(C2)$  si l'inclusion ' $\supseteq$ ' devient une équivalence '=' :

$$C = \Phi_1(C1) \quad (4)$$

$$C = \Phi_2(C2) \quad (5)$$

Les équations définissant les concepts communs peuvent être utilisées pour réaliser des mécanismes standards d'échange entre un LME et UEMML et vice-versa. Ce point demande une certaine attention puisque les équations ont été vérifiées sur les modèles d'un scénario spécifique. Il n'y a donc pas de garantie totale que les

<sup>8</sup> C1 et C2 peuvent être considérés à la fois comme des concepts, mais aussi chacun respectivement comme l'ensemble des objets de modélisation qui sont des instances / utilisations / occurrences de ces concepts dans les modèles considérés.

<sup>9</sup> Dans ce cas spécifique, les meta-modèles des langages peuvent être retravaillés, introduisant ce qui s'appelle des « *semantic enrichments* » (enrichissements sémantiques) prévu aussi dans l'intégration des schémas des bases des données (Klein, 2001).

équations définissent des correspondances sémantiques valables quels que soient les modèles ; cependant, si le scénario contient des traductions indépendantes des modèles, l'approche suivie permet de les trouver et de les justifier.

Cette approche permet aussi de gérer des situations où un concept issu d'un langage présente une correspondance sémantique avec plusieurs concepts dans un autre langage : dans ce cas, plusieurs équations (1) qui contiennent le même concept sont définies. Le principal problème est la manière de considérer ces multiples équations pour bâtir un UEML. En effet, le travail en cours montre que, dans les situations envisagées, le point le plus important est de comprendre si certaines équations relatives au même concept doivent être utilisées séparément ou simultanément. Cela permet d'identifier trois cas possibles :

- les modèles contenus dans le scénario ne sont pas corrects (le risque que ce cas se présente est limité si la modélisation du scénario est réalisée par des experts) ;
- le concept qui est contenu dans plus d'une équation est « surchargé » (à savoir, ce même concept peut être utilisé pour modéliser des choses distinctes) ;
- l'ensemble des concepts d'un langage retrouvés dans les équations contenant un même concept d'un autre langage, ne sont que des « vues » distinctes de ce concept unique.

### 3.2.5 Une stratégie pour UEML 1.0

Le projet UEML étant un projet pilote, il avait pour objectif de démontrer la faisabilité de la définition d'un UEML tout en respectant les objectifs mentionnés dans la section 3.2.2. Par conséquent, ses résultats en termes d'objets de méta-modèle communs se limitent à une première version UEML (UEML 1.0) défini sur base de trois langages inventés par trois des partenaires du projet (voir Tableau 5).

| LME                                     | ELME   | Fournisseur             |
|---|--------|-------------------------|
| IEM (Mertins and Jochem, 1999)          | MOOGO  | Fraunhofer, IPK, Berlin |
| EEML (EXTERNAL, 2000)                   | METIS  | Computas, Lysaker       |
| GRAI (Doumeingts, <i>et al.</i> , 1992) | eMAGIM | Graisoft SA, Bordeaux   |

Tableau 5 : Langages à la base de UEML 1.0

Durant le projet, une méthodologie basée sur les concepts décrits ci-dessus, baptisée « stratégie pour UEML » a été appliquée pour définir UEML 1.0 avec ces trois langages. Les étapes de cette stratégie sont les suivantes (Figure 14):

1. Un scénario (une situation concrète de référence à modéliser) est défini. Ce scénario est modélisé dans chacun des trois langages considérés. Cette activité doit être réalisée par des experts de modélisation dans chacun des langages considérés. Malgré cela, une marge de subjectivité reste possible lors de la modélisation.
2. Les meta-modèles de chaque langage sont définis dans un modèle des classes UML. Ces meta-modèles représentent la syntaxe abstraite des langages par un ensemble d'objets de méta-modèle et des relations entre

- ceux-ci. Les meta-modèles de chaque langage sont vérifiés par des experts d'UML.
3. Les modèles bâtis pendant l'étape 1 contiennent des objets de modèles ; suivant l'approche décrite dans la section 3.2.4.3, les correspondances sémantiques entre les trois langages considérés sont établies.
  4. Les concepts communs et aussi quelques concepts non communs sont identifiés. On peut remarquer ici que l'approche décrite dans la section 4.3 est spécialement adaptée pour l'identification des concepts communs. Par contre, il est beaucoup plus difficile de définir les conditions pour caractériser des concepts comme étant non communs (différents). En effet, on pourrait, par exemple, affirmer que deux ou plusieurs concepts peuvent être considérés comme non communs si et seulement si il n'existe pas de scénario permettant d'établir une correspondance sémantique entre eux.
  5. Sur la base des concepts communs précédemment identifiés à l'étape 4, une version de UEML peut être bâtie et représentée par un modèle de classes UML (prenant aussi en compte quelques concepts non communs).
  6. Une version finale des correspondances sémantiques entre les langages considérés et le meta-modèle d' UEML est définie.
  7. Une vérification finale est faite sur les correspondances sémantiques entre les UEML et les langages considérés (par exemple sur base de nouveaux scénarii).

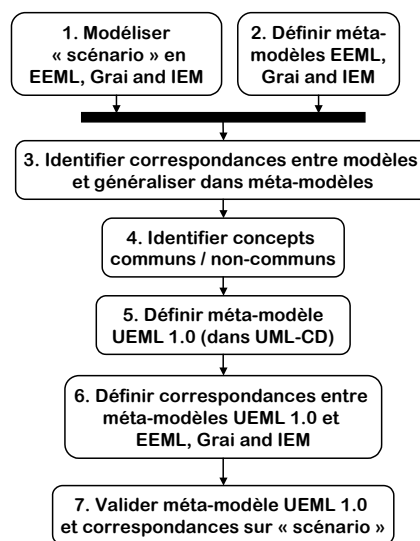


Figure 14 : Stratégie pour UEML 1.0

Le meta-modèle UEML qui résulte de l'application de la stratégie (sans attribut de classe) est montré dans la Figure 15 ci-dessous. Le Tableau 6 (résultat de l'étape 6) résume les correspondances sémantiques entre le meta-modèle de UEML 1.0 et les meta-modèles des trois langages considérés. Ce tableau présente dans chaque ligne horizontale les équations de type 4 et 5 décrites à la section 3.2.4.3, qui caractérisent le concept commun.

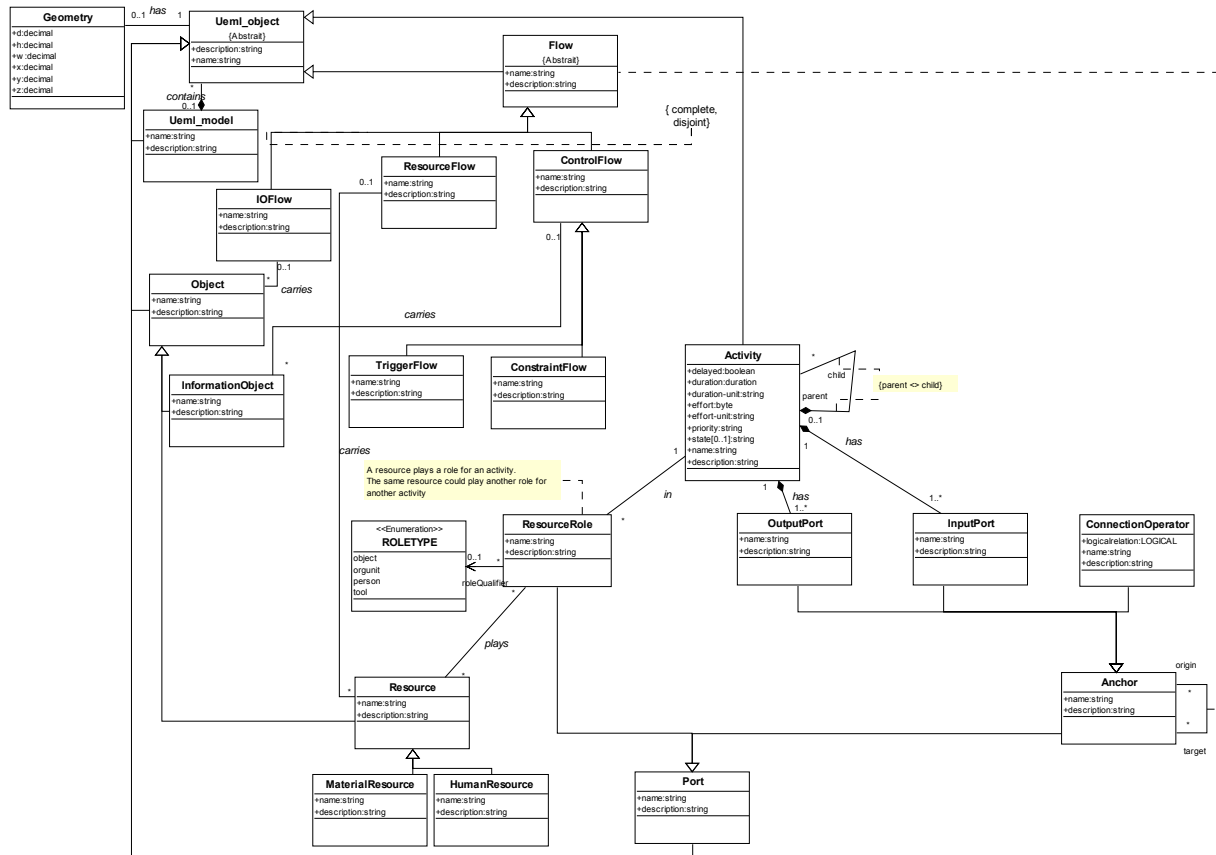


Figure 15 : Méta-modèle d'UEML 1.0

| C                       | $\Phi_1(C_1)$                          | $\Phi_2(C_2)$                      | $\Phi_3(C_3)$                                |
|-------------------------|--|------------------------------------|--|
| <b>CONCEPTS COMMUNS</b> | <b>GRAI</b>                            | <b>IEM</b>                         | <b>EEML</b>                                  |
| ACTIVITY                | Extended activity                      | Action state                       | Task   |
| ROLE                    | Not explicit                           | IEM Object state                   | Role   |
| RESOURCE                | Resource                               | Resource class                     | Resource                                     |
| INPUT/OUTPUT FLOW       | Input / Flow Output / Flow             | Successor / ProcessElement         | Flow (with is control flow = false)          |
| CONSTRAINT FLOW         | Control / Flow (with trigger=false)    | No direct equivalence              | Flow (with is control flow = false and Role) |
| CONTROL FLOW            | Control / Flow (with trigger=true)     | ControlSuccessor / ProcessElement  | Flow (with is control flow = true)           |
| RESOURCE FLOW           | Resource / Flow (with trigger = false) | ResourceSuccessor / Resource State | Role (with Task)                             |
| CONNECTION OPERATOR     | Logical operator                       | Connection Element State           | DecisionPoint (not (Inport or Output))       |
| PORT                    | Connector                              | Port                               | Decisionpoint (Inport or Output)             |

Tableau 6 : Correspondances sémantiques entre IEM, EEML, GRAI, et UEMML 1.0

Par conséquent, comme cela a été suggéré dans la section 3.2.4.1, des correspondances sémantiques entre langages devraient se baser sur des hypothèses raisonnables, qui devraient être clairement énoncées et servir de base

pour la définition du langage, pour ensuite être éventuellement standardisées. Les correspondances sémantiques peuvent être définies plus ou moins précisément dans des langages variés. Dans notre cas, nous avons caractérisé ceux-ci par des équations mais ils peuvent être exprimés, par exemple, informellement (en langage naturel) ou plus formellement dans un langage de méta-modélisation. D'un point de vue technique, XSLT est une proposition pour définir des transformations de documents XML sur la base de règles de transformation exprimées sur la base de schémas XML. L'avantage d'une telle approche est que des outils logiciels sont déjà opérationnels pour interpréter ces correspondances sémantiques et les appliquer à des documents XML. Elle pourrait être considérée comme un moyen d'implémenter des mécanismes d'échange basés sur les correspondances entre LMEs, pour autant que ceux-ci possèdent une syntaxe XML.

La stratégie pour UEML a défini des correspondances sémantiques entre des langages existants. Il est également possible, avec une stratégie similaire, de définir des relations au niveau du langage, a priori, lorsque de nouvelles méthodologies et méthodes sont en cours de définition. Par conséquent, UEML pourrait être une bonne base de départ pour contrôler le processus de définition de nouvelles méthodes et méthodologies, ainsi que les règles appliquées dans une méthodologie spécifique.

### 3.2.6 Une vision pour la Modélisation d'Entreprise

L'analyse de l'état de l'art de la modélisation d'entreprise réalisée dans le projet UEML [RPE14] démontre le besoin de définir et de développer une approche UEML pour résoudre les problèmes actuels rencontrés par les modélisateurs d'entreprise. Mais une telle approche ne sera couronnée de succès qu'à deux conditions :

- Qu'elle fournisse une approche globale de l'interopérabilité entre les logiciels, qui dépasse le simple fait de fournir un format d'échange ;
- Qu'elle rende clair et effectif le lien entre la modélisation d'entreprise et les applications et logiciels d'entreprise.

Comme énoncé précédemment, un format d'échange commun, s'il veut réussir, ne peut être défini indépendamment de mécanismes d'échange vers et à partir de LMEs existants. De plus, ceci nécessite la définition explicite de méta-modèles des langages impliqués et de correspondances sémantiques entre leurs objets. Cependant, si l'on veut éviter que UEML, comme format d'échange, ne devienne un LME de plus parmi le grand nombre de LMEs existants (ce qui ne ferait que compliquer le problème d'interopérabilité), une vision plus large de l'interopérabilité entre outils de ME doit être adoptée.

Le langage et l'approche UEML doivent être flexibles de manière à permettre la prise en compte future de nouveaux langages propriétaires et l'évolution des LMEs actuels.

L'objectif à long terme de l'approche UEML pourrait donc être de fournir les concepts et les outils nécessaires pour atteindre :

- Une *interopérabilité*, tant entre les *outils de support à la modélisation (ELMEs) existants* qu'avec de *nouveaux outils* développés dans le futur ;
- Des *bases solides* nécessaires à une intégration de LMEs distincts ;
- Des modèles globaux cohérents sur lesquels peuvent également être appliquées des *méthodologies* distinctes ;
- Une amélioration des *méthodologies existantes* et la définition de *nouvelles méthodologies*.

De ces objectifs, découlent un certain nombre de besoins qu'une approche UEML doit rencontrer :

- La disponibilité de concepts, méthodes et outils de méta-modélisation permettant de définir correctement des LMEs (les langages existants, de nouveaux langages émergents, UEML lui-même, leurs extensions et leurs particularisations pour des domaines ou applications particulières ou pour répondre à des objectifs particuliers) ;
- La disponibilité de concepts, méthodes et outils permettant de définir correctement les relations existant entre des LMEs, ainsi que les relations existant entre divers modèles créés avec ces LMEs ;
- La disponibilité de concepts, méthodes et outils permettant de définir correctement des méthodologies relatives à l'utilisation des LMEs ;
- La spécification d'une *architecture logicielle ouverte* dans laquelle tous ces éléments peuvent être implémentés afin de fournir une plateforme multi-langages, évolutive et centrée sur UEML, pour la modélisation d'entreprise. Cette plateforme permettrait la création de modèles d'entreprises *globaux, cohérents et conceptuellement centralisés* (intégrés) mais qui, au *niveau physique*, peuvent être distribués parmi différentes applications de modélisation d'entreprise.

De manière complémentaire aux travaux sur UEML, qui se restreint à l'interopérabilité au niveau des applications de niveau « Business », il est aussi nécessaire de relier ces modèles aux applications de niveau « Manufacturing ».

### **3.3 Approche holonique pour l'interopérabilité B2M (Business To Manufacturing)**

L'objectif de la thèse de Salah Baïna [TH2] concerne l'interopérabilité entre modèles de systèmes d'entreprise de production de biens et de services (Business) et de systèmes de contrôle d'atelier (Manufacturing). Ces modèles favorisent la définition, le développement et le déploiement de ces systèmes dans un contexte d'intégration du contrôle de la production en entreprise. Ces travaux appliquent principalement des techniques ensemblistes issues du Génie Informatique, notamment le Langage Unifié de Modélisation UML, afin de méta-modéliser des éléments de construction (framework, patterns, constructs) de ces modèles (processus, activités) pour leur utilisation en modélisation de processus d'entreprise et de production. Dans ce cadre, une entreprise peut être une entité unique ou un ensemble d'entités collaborant.

Afin d'assurer l'interopérabilité de ces modèles et des applications les mettant en œuvre, deux approches peuvent être suivies : une approche a posteriori consistant à formaliser des passerelles entre des modèles hétérogènes, et une approche a priori consistant à proposer une méthode de modélisation systématique prenant déjà en charge les aspects d'interopérabilité futurs des modèles et des applications.

La plupart des approches pour l'interopérabilité existant dans l'entreprise ont pour objectif principal l'ajustement et l'adaptation des types et structures des paramètres d'appel lorsqu'une procédure doit en invoquer une autre. Ces approches se basent sur le paradigme d'appel de procédures, elles traitent l'interopérabilité au moment de l'exécution ou appel de procédure. Ce type d'interopérabilité est appelé l'interopérabilité orientée procédure. Dans le cadre de l'interopérabilité orientée procédure, il est admis que la procédure requise par le client et celle offerte par le serveur sont fonctionnellement identiques, autrement dit les fonctions réalisées par la procédure requise et celles réalisées par la procédure offerte sont les mêmes. Bien que l'interopérabilité orientée procédure soit une bonne base pour l'interopérabilité entre composants ou applications hétérogènes en se basant sur l'unification des interfaces, les solutions offertes résolvent uniquement le côté syntaxique de l'interopérabilité entre procédures (types des entrées → types des sorties). Le protocole d'interconnexion des interfaces ne traite ni la sémantique des fonctions réalisées par les procédures ni la sémantique des données en entrée ou en sortie. Pour traiter l'interopérabilité sémantique des données, plusieurs travaux de recherche ont vu le jour et se classifient en trois grandes approches : l'interopérabilité par mapping, l'interopérabilité via intermédiaires et l'interopérabilité par échange de requêtes (Park et Ram, 2004).

L'approche par mapping (mapping-based approach) a pour but de construire des correspondances entre données sémantiquement reliées. Cette approche se base, en général, sur un schéma global (ou fédéré) et un ensemble de correspondances reliant le schéma fédéré à chacun des schéma locaux (Madhavan et al, 2002 ; Rahm E, Bernstein, 2001 ; Halevy et Madhavan, 2003 ; Doan, *et al.*, 2003). Cependant, dans cette approche, le schéma fédéré dépend fortement des schémas locaux et spécifiques à chaque système. Une représentation explicite de la sémantique des données sources peut aider à réaliser les correspondances.

L'approche via intermédiaires se base sur l'utilisation de mécanismes intermédiaires (ex : médiateurs, agents, ontologies, etc.) dans le but de mettre en place l'interopérabilité (Papastavrou et al, 1999 ; Maedche et Staab, 2000 ; Halevy, *et al.*, 2005 ; Garcia-Molina, *et al.*, 1997 ; Adali et al, 1996). Ces intermédiaires peuvent avoir une connaissance spécifique du domaine, ou des règles précises pour coordonner différentes sources de données ou peuvent contenir eux-mêmes des règles de construction de mapping. Dans la majorité des cas, ces intermédiaires utilisent des ontologies pour partager un vocabulaire ou un protocole de communication standard. Le recours aux ontologies permet d'avoir une représentation relative au domaine étudié mais indépendante des schémas individuels utilisés par les systèmes et les applications.

La troisième et dernière approche est l'approche par échange de requêtes basée sur des langages interopérables ; des langages de logique déclarative ou bien des langages dérivés de SQL (Chamberlin, *et al.*, 2000). Ces langages permettent de formuler des requêtes interrogeant plusieurs bases de données. Pour résoudre des



conflits sémantiques, ces langages doivent prendre en compte les deux aspects des bases de données: données et métadonnées. L'un des principaux inconvénients de cette approche est le fait de déléguer à l'utilisateur la résolution des concordances entre les différentes bases de données. Ce qui implique la responsabilité de l'utilisateur lui même dans le processus de résolution des conflits sémantiques.

Un des résultats essentiel de cette recherche sur l'interopérabilité B2M, engagée dans la thèse de Salah Baïna, est le développement d'une méthode de modélisation « systématique » des processus de production de biens et de services sur la base du concept d'holon [R13][C130] (Figure 16). Cette modélisation prend compte des standards existants tel que, en particulier, le standard IEC 62264 (2002) « Enterprise-Control System Integration », et son implémentation B2MML<sup>10</sup> (Business To Manufacturing Markup Language) pour l'échange de données avec le niveau production de l'entreprise. UEML (voir section 3.2) a servi de base pour la définition des interfaces avec le niveau gestion d'entreprise (Figure 17). Ces travaux de recherche sont validés par la mise en œuvre de la méthode proposée dans le cadre de la modélisation d'une application industrielle de production de biens et de services, implémentant l'échange de données et de modèles entre applications de gestion d'entreprise (ERP) et de contrôle de la production (MES).

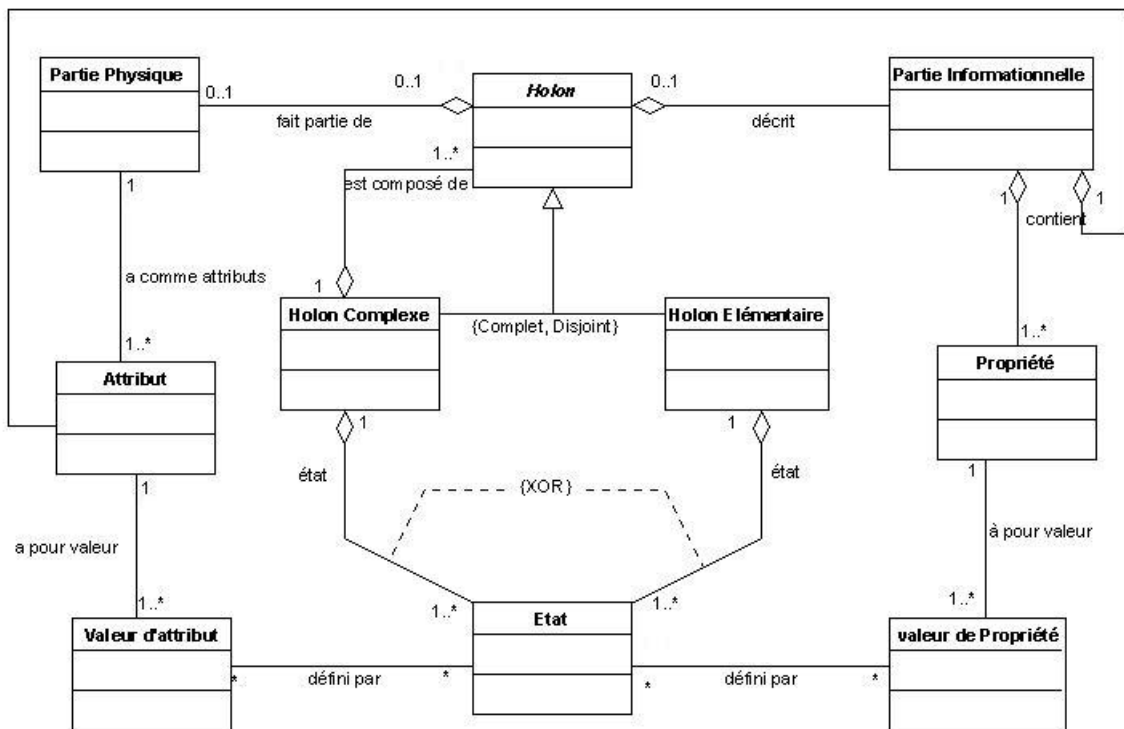


Figure 16 : Meta-modèle relatif au concept d'holon [C134][ TH2]

<sup>10</sup> B2MML est spécifié par le World Batch Forum, <http://www.wbf.org>

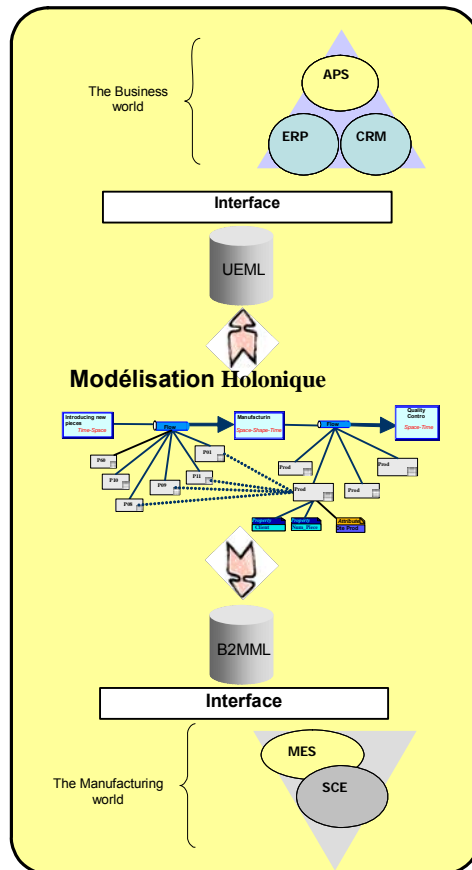


Figure 17 : Modélisation holonique et interfaces

### 3.4 Synthèse

Nous avons démontré l'intérêt et l'utilité d'un langage unifié afin d'aider à l'intégration dans les entreprises, et plus particulièrement dans les réseaux d'entreprises. Une adaptation de ce langage, par la définition du concept d'holon, peut être nécessaire pour la synchronisation des informations tout au long du cycle de vie des produits.

Cependant, l'approche doit être affinée car certains aspects n'ont pas été étudiés en détail. En particulier, l'identification des concepts communs et non-communs, la spécification de correspondances par l'utilisation des équations, les mécanismes pour réaliser des traductions standardisées génériques (indépendantes des modèles) et la relative complexité de l'approche.

Dans le cadre de notre contribution au réseau d'excellence INTEROP [PE7], une nouvelle version de UEML est en cours de définition [RPE24]. Elle repose sur la définition d'éléments de constructions basés sur l'ontologie générique BWB proposée par Wand et Weber (1990 ; 1995), mais adaptée au contexte de la modélisation d'entreprise. Cette formalisation permet de définir un langage de modélisation, quel qu'il soit, sur la base d'un meta-meta-modèle (Figure 18) qui tiendra compte non seulement de la vue statique des instances de modèles mais aussi une vue dynamique reposant sur les concepts d'état-transition. Cette formalisation d'un langage se rapprochera ainsi de la définition d'une ontologie du domaine qui pourra être utilisée, par exemple, pour le référencement de concepts communs par des annotations sémantiques de modèles d'entreprise [RPE25].

Nous avons déjà tenté, dans la définition du modèle holonique formalisé dans la thèse de Salah Baïna [TH2], de tenir compte de ces travaux basés sur l'ontologie BWW [CI34].

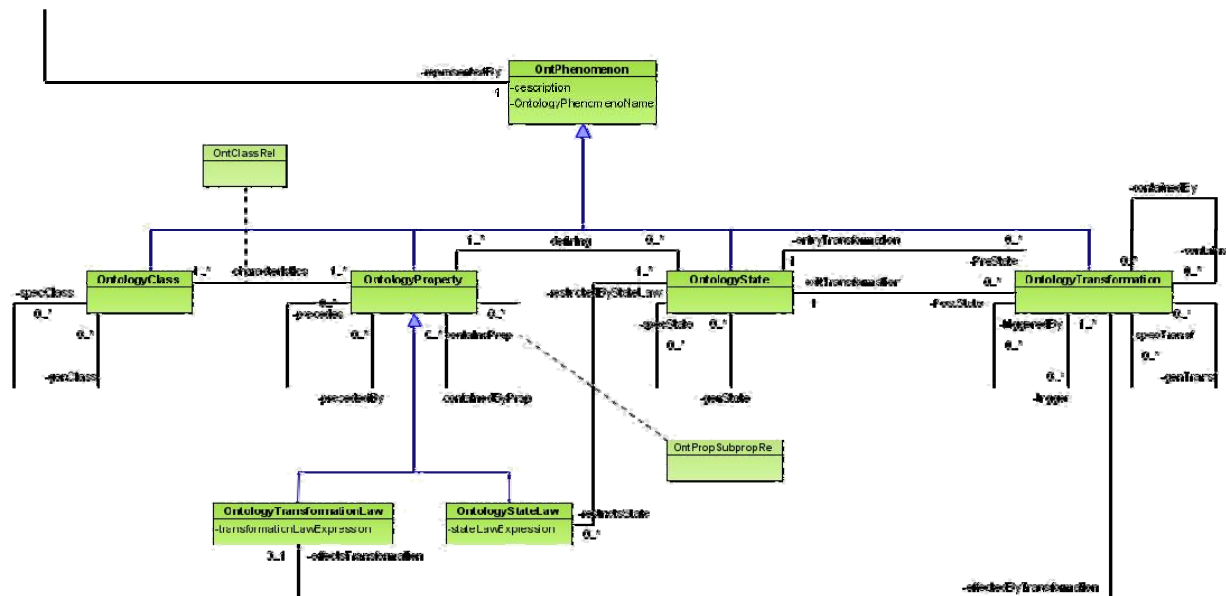


Figure 18 : Extrait du Meta-meta-modèle d'un langage de modélisation [RPE24]

Par rapport à notre proposition de cadre de classification, UEML participe à l'interopérabilité au niveau CIM (cf. MDA) et se situe aux niveaux 2 et partiellement 3 des cadres LISI, LCIM et OIM (Tableau 3). Il procède d'une interopérabilité que nous qualifierons de « horizontale ».

L'interopérabilité centrée sur le produit, interface entre des modèles de niveau « business » (UEML) et des modèles de niveau « Manufacturing » (IEC 62264) est une interopérabilité entre les niveaux CIM et PIM (cf. MDA) que nous qualifierons d'interopérabilité « verticale ». Les entreprises et applications mettant en œuvre ce processus se situent aux niveaux 1, 2 et partiellement 3 des cadres LISI, LCIM et OIM (Tableau 3).

## 4. SYNTHÈSE GÉNÉRALE

Notre implication dans plusieurs projets européens nous a permis d'entrevoir les problématiques industrielles liées à l'interopérabilité des applications d'entreprises de production, à la fois en liaison avec les processus d'entreprises mais aussi les produits et services qu'elles offrent. Nous avons ensuite généralisé ces concepts afin d'en déterminer des verrous scientifiques et ainsi proposer trois thèses de doctorat (dont une en cours) cherchant à faire émerger, par un processus de meta-modélisation et la définition de méthodologies de modélisation, et en relation avec les différentes initiatives de standardisation, les modèles de systèmes d'informations nécessaires à cette interopérabilité. Cependant, les processus d'ingénierie de l'interopérabilité mis en œuvre sont principalement dirigés par les modèles et ne font pas suffisamment référence à la sémantique des concepts modélisés et échangés. Notre programme de recherche cherchera donc à favoriser la formalisation de la sémantique de modèles et la spécification formelle des correspondances entre concepts issus de modèles différents, en référence à des d'ontologies du domaine.

### III Programme de recherche en intégration et interopérabilité des systèmes d'entreprises

#### 1. CONTEXTE ET ENJEUX

Mon projet de recherche intitulé « intégration et interopérabilité des systèmes d'entreprises », a pour objectif de contribuer à la maîtrise de la qualité des modèles d'entreprises et de leur interopérabilité au sein de l'entreprise dite « intégrée » afin de formaliser la connaissance des concepts qu'ils modélisent.

L'entreprise intégrée, au sens CIM (Computer Integrated Manufacturing) est généralement considérée comme une organisation pyramidale séparant le monde des applications et le monde de l'ingénierie (Figure 19).

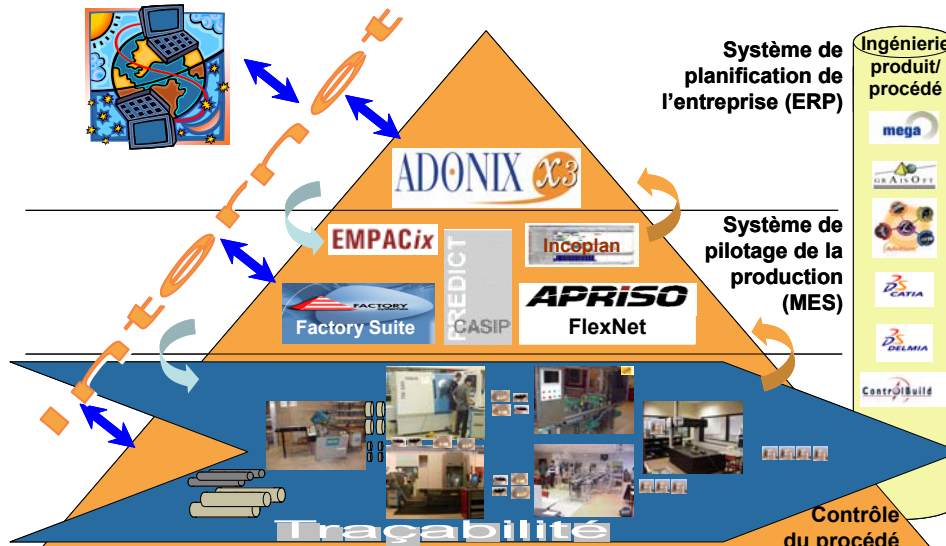


Figure 19 : L'architecture CIM de l'A IPL  
(Figure empruntée à l'A IPL)

Cette architecture est composée de nombreuses applications, au niveau de l'exécution (le système à faire) comme au niveau de l'ingénierie (le système pour faire) (Menadier, 2002) des systèmes, associées à des systèmes d'information généralement hétérogènes. Chaque application d'entreprise peut ainsi être considérée comme un système à part entière. L'entreprise est ainsi représentative d'un **Système de Systèmes** (Carlock and Fenton, 2001), résultant du fonctionnement collaboratif de systèmes unitaires, dont chacun peut fonctionner de façon autonome pour remplir sa propre mission opérationnelle, et fournissant ainsi de nouvelles propriétés dues à cette collaboration. Si les systèmes n'ont pas été initialement prévus pour interopérer, c'est à l'évidence un problème typique d'intégration avec maîtrise, a posteriori des hétérogénéités, tant syntaxiques que sémantiques. L'ingénierie de cet ensemble doit lui aussi tenir compte de la nécessaire interopérabilité, voire intégration de ces composants, tout en tenant

compte des objectifs, des exigences et des connaissances des acteurs qui les mettent en œuvre.

A l'ère du déploiement des nouvelles technologies de l'information et de la communication, l'un des enjeux majeurs de l'Entreprise d'aujourd'hui dite Etendue (Brown et al. 1995) est d'adapter dynamiquement son offre de produits (biens ou service) en fonction du nouveau comportement des consommateurs qui révèle une demande de plus en plus personnalisée et génératrice de concurrence.

Le produit étant l'élément pivot à toutes les applications, qu'il soit considéré comme un bien ou un service, mais relatif à des vues complémentaires par des acteurs différents, nous avons postulé dans [C130] de séparer les mondes relatifs à la gestion d'entreprise, le contrôle de la production et l'ingénierie tout en les synchronisant par l'intermédiaire du produit, en particulier la vue informationnelle que les applications en ont (Figure 20).

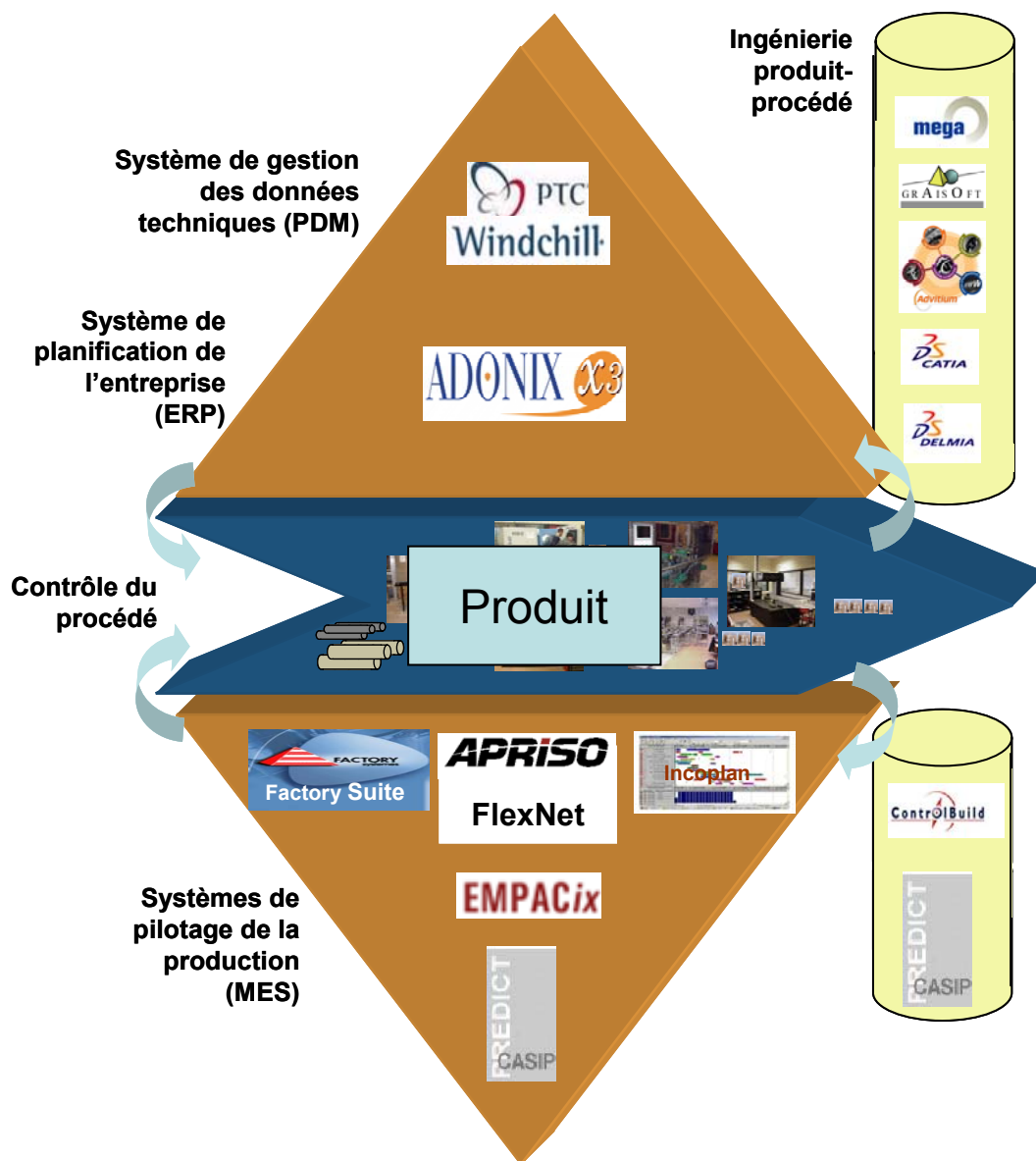


Figure 20 : Interopérabilité des systèmes d'entreprise centrée sur le produit

L'entreprise ainsi définie répond au besoin essentiel de collaboration et de communication entre acteurs de l'entreprise ou entre entreprises qui collaborent par un partage cohérent d'informations uniques. Il s'agit donc d'"électroniser" le produit avec un ensemble d'informations disponibles dans l'entreprise à tous les niveaux, afin d'intégrer étroitement les acteurs stratégiques de l'entreprise (financier, management, ...), les mondes de la planification et de la gestion, du pilotage et de l'exécution de la production, de l'automatisme, ... pour développer une vision globale de l'entreprise permettant d'optimiser les prises de décision tout en facilitant l'interopérabilité applications.

Cependant, que ce soit en phase d'ingénierie ou d'exploitation, chaque application travaille sur une connaissance partielle de l'entreprise. De même, l'ensemble des acteurs (modélisateurs et opérateurs) ont aussi une vision parcellaire de l'entreprise qui dépend étroitement de leurs objectifs propres et des niveaux décisionnels auxquels ils se situent. Par exemple, alors que les gestionnaires d'entreprise se réfèrent à des indicateurs de performance relatifs aux coûts, les responsables de production organisent le travail en fonction d'objectifs de rendement de la production. Cette mesure d'une réalité sociotechnique et l'élaboration des modèles de processus d'entreprise s'y référant partagent des concepts communs avec des objectifs différents et parfois antagonistes.

L'enjeu industriel majeur est de définir, développer et déployer une approche méthodologique pour l'intégration des systèmes dans des environnements hétérogènes en tenant compte des connaissances métiers, actuellement non formalisées. Par exemple, une preuve de concept est en cours dans un partenariat avec EDF pour formaliser la connaissance tacite des rondiers qui, lors des phases d'arrêt ou de démarrage de tranches nucléaires, doivent mettre à profit leur expérience (parfois tacite) pour appliquer des procédures strictes explicites définies par dans des modèles de processus de fonctionnement. Cette formalisation, en relation avec l'environnement d'exploitation et d'ingénierie, participe à une « intelligence ambiante » qu'il s'agit de formaliser même si elle difficilement mise en pratique.

L'enjeu scientifique est d'étendre les fondements de la modélisation d'entreprise par une formalisation mathématique des connaissances système et métier, à la fois des modélisateurs (en phase d'ingénierie) mais aussi des opérateurs (en phase d'exploitation) afin de qualifier les modèles par rapport à l'objet modélisé. Comme le montrent les auteurs (Nof, et al, 2006) : « *Challenges in human-computer interaction (HCI) can provide further extension not only to explore the installed body of information, but also to discover new knowledge via intensive information exchange, similar to the brainstorming process among humans* ». En effet, la connaissance tacite du modélisateur, si elle est extraite et formalisée, doit inférer sur la qualité des modèles et faciliter leur échange en référence à une ontologie commune du domaine d'application.

L'originalité de notre démarche de travail est qu'elle est non seulement pluridisciplinaire en faisant intervenir des compétences en génie industriel et en génie informatique, mais elle est aussi basée sur des coopérations industrielles et scientifiques fortes, particulièrement au sein de programmes de recherche

européens, et qui se sont avérées fructueuses sur le plan des résultats et particulièrement motivante pour les chercheurs.

Ce programme de recherche, développé ci-après, est construit sur une forme qui nous permettra de le proposer comme un support à une équipe/projet du CRAN lors de la définition du prochain quadriennal et la demande de renouvellement d'association au CNRS (2009-2012).

## 2. OBJECTIF DE RECHERCHE

La problématique scientifique de notre projet concerne la formalisation des modèles et de la sémantique des concepts de modélisation dans un contexte de projet d'interopérabilité. Ce projet procède d'une recherche méthodologique, qui cherche à mettre à la portée de non-spécialistes des résultats de recherche issus du domaine de la formalisation de la connaissance et des langages qui y sont attachés, comme par exemple le domaine des ontologies. Mais il sous-tend aussi une recherche technologique qui doit apporter des réponses originales à la prise en compte des besoins d'interopérabilité dès les phases amont de modélisation d'un projet d'intégration d'applications hétérogènes. En effet, il s'agit donc de s'éloigner de l'actuelle « boxologie<sup>11</sup> », plus syntaxique que sémantique, telle que très souvent mise en œuvre en modélisation, aboutissant très souvent à des œuvres d'art qui, bien qu'utiles pour communiquer, ne permettent pas une formalisation de la connaissance du système modélisé mais seulement une représentation d'un point de vue particulier pour un acteur particulier. La mise en correspondance, la transformation et l'échange de modèles, permettant l'intégration des applications d'entreprise et assurant ainsi des flux d'informations cohérents entre tous les acteurs, nécessitent ainsi de rendre explicite, la connaissance tacite des modélisateurs (et opérateurs) sur les processus (et donc les modèles) dont ils sont responsables ou auteurs (Lhote, et al., 1999).

Cette problématique constitue un verrou scientifique et technique à lever pour contribuer à la fiabilisation des modèles d'entreprise ainsi que des flux d'information et de modèles entre applications d'entreprises interopérables.

Pour contribuer à cette fiabilisation des modèles d'entreprise et de leur interrelations pour l'intégration forte des applications, ce projet a pour objectif de recherche, dans un contexte d'ingénierie système, de définir, d'étendre et de formaliser les processus de modélisation des systèmes d'entreprise en tenant compte des connaissances, généralement non explicites, des acteurs de ces systèmes. Cette preuve de concept relatif à la formalisation de la connaissance des modèles se base sur la définition d'ontologies (Gruber, 1993) du domaine. La recherche dans ce domaine s'est surtout attachée à la formalisation de correspondances structurelles entre les concepts de modélisation (Fox, et al, 1996 ; Klein, 2001 ; Doan, et al, 2003 ; Rodríguez and Egenhofer, 2003), ainsi qu'à l'étude de la sémantique par l'analyse de spécifications textuelles (Maedche and Staab, 2000). La sémantique métier relative au domaine d'application doit aussi être formalisée (Obrst, 2004) et en particulier lorsque cette

---

<sup>11</sup> Terme humoristique proposé par Henri Habrias pour qualifier les méthodes et méthodologies d'analyse, <http://www.iut-nantes.univ-nantes.fr/~habrias/spec1/boxologie.html>



sémantique est relative à des modèles d'entreprise apportant une connaissance sur le système étudié.

Les ontologies sont des *spécifications de conceptualisations* (Gruber, 1993), qui permettent la représentation de la connaissance d'un domaine. De manière générale, une ontologie ne s'intéresse pas à la construction d'un modèle mais à la formalisation de la sémantique des éléments de modélisation. Par conséquent, une ontologie se situe en amont de la modélisation d'entreprise, permet d'en formaliser les concepts et participe à l'identification des concepts à modéliser et leur comportement dynamique.

L'apport des ontologies aux processus de modélisation concerne principalement :

- a priori : la formalisation des règles de construction des modèles en se référant au domaine d'application, aux lois de la physique, ... ;
- a posteriori : la vérification de la cohérence entre différents modèles représentant différents points de vue (statique, comportemental, ... ) ;
- pour l'interopérabilité : la formalisation d'annotations sémantiques favorisant l'expression des connaissances tacites devant pourtant être explicites.

Or, la définition d'une ontologie est bien plus qu'une taxonomie. Elle requiert la formalisation d'axiomes spécifiant la sémantique des concepts modélisés et les contraintes liées à des instances particulières de ces concepts.

Mon séjour de 4 mois en Italie, à l'université de Rome 1 « La Sapienza », m'a permis de conforter mes connaissances dans le domaine des outils mathématiques nécessaires à la formalisation d'ontologies. En particulier, j'ai pu étudier et mettre en pratique une logique de description (DL-Lite) (Calvanese, et al, 2002) pour la formalisation des concepts relatifs à la modélisation d'entreprise. D'un point de vue pratique, une tentative de définition formelle d'une ontologie issue du standard IEC 62264 (IEC 62264, 2002) a été menée en collaboration avec l'équipe de M. le Prof. Lenzerini (Tableau 7).

| IEC 62264 concepts         | DL-Lite formalisation   |
|----------------------------|---|
| MaterialDefiniton          | $\text{MaterialDefinition} \subseteq \text{Thing}$  |
| MaterialClass              | $\text{MaterialClass} \subseteq \text{Thing} \cap \neg \text{MaterialDefinition}$   |
| hasMaterialClass           | $\text{MaterialClass} \subseteq \forall \text{hasMaterialClass} . \text{Materialdefinition}$<br>$\text{funct}(\text{hasMaterialClass})$ |
| MaterialDefinitionProperty | $\text{MaterialDefinitionProperty} \subseteq \exists \text{hasMaterialDefinitionProperty} . \text{MaterialDefinition}$                  |
| MaterialLot                | $\text{MaterialLot} \subseteq \exists \text{definedBy} . \text{MaterialDefinition}$   |

Tableau 7 : Extrait d'une formalisation DL-Lite de l'IEC 62264

Les logiques de description (LD) ont été conçues à partir des réseaux sémantiques de Quillian (Quillian, 1968) et de la sémantique des cadres de Minsky (Minsky, 1975). Les logiques de description forment une famille de langages de représentation de connaissances qui peuvent être utilisés pour représenter la connaissance terminologique d'un domaine d'application d'une façon structurée et



formelle. Le nom "logique de description" peut être interprété de deux manières. D'une part ces langages ont été élaborés pour écrire la "description" des concepts pertinents d'un domaine d'application. D'une autre part, une caractéristique cruciale de ces langages est qu'ils ont une sémantique formelle définie en logique du premier ordre (à la différence des propositions précédentes comme les cadres de Minsky). Dans ce sens, nous pouvons dire que les LDs ont une sémantique "descriptive" formelle.

La plupart des logiques de description divisent la connaissance en deux parties :

- les informations terminologiques: définition des notions basiques ou dérivées et de leurs relations. Ces informations sont "génériques" ou "globales", vraies dans tous les modèles et pour tous les individus ;
- les informations sur les assertions: ces informations sont "spécifiques" ou "locales", vraies pour certains individus particuliers et caractérisent ainsi des contraintes de modélisation en relation avec la réalité physique des objets modélisés.

Toutes les informations connues sont alors modélisées comme un couple  $\langle T, A \rangle$ , où T est un ensemble relatif aux informations terminologiques (la TBox) et A est un ensemble relatif aux informations sur les assertions (la ABox). Les logiques de description utilisent les notions de *concept*, de *rôle* et d'*individu*. Les concepts correspondent à des "classes d'éléments" et sont interprétés comme un ensemble dans un univers donné. Les rôles correspondent aux "liens entre les éléments" et sont interprétés comme des relations binaires sur un univers donné. Les individus correspondent aux éléments d'un univers donné. Des mécanismes mathématiques permettent d'inférer des concepts et des rôles non explicitement formalisés à partir d'une ontologie donnée. Ceci permet, dans une certaine mesure, de vérifier, semi-automatiquement, la complétude et la cohérence d'un modèle par rapport à une ontologie donnée.

La formalisation d'une ontologie à l'aide d'une LD permet donc de définir la sémantique des concepts modélisés en précisant, sans ambiguïté, leur sens dans un contexte donné. L'intérêt d'une telle formalisation est, qu'au lieu de prescrire de manière impérative tous les concepts d'un modèle, ces derniers sont explicités à partir d'un ensemble minimum de concepts atomiques pour lesquels un consensus sur leur définition existe.

Notre challenge scientifique est ainsi d'apporter des solutions formelles à l'enjeu de l'entreprise communicante et intégrée en cherchant :

- à améliorer les processus d'ingénierie des applications en tenant compte, au plus tôt, de leurs besoins d'interopérabilité pour leur intégration au sein des processus d'entreprise existant ;
- à améliorer la qualité des modèles d'entreprise par la prise en compte et la formalisation mathématique des connaissances tacites généralement masquées par le langage de modélisation utilisé (ou le modélisateur lui-même) et par la diversité des points de vue de modélisation mis en œuvre.

### 3. ACTIONS DE RECHERCHE ET PARTENARIATS

**Participants** : H. Panetto, G. Morel, D. Gouyon, S. Baïna, A. Tursi, J.P. Auzelle, D. Dobre, F. Mayer (ERPI, INPL)

Ce projet de recherche s'articule selon deux axes :

- Un axe « **diachronique** », qui s'intéresse, au cours du temps, à l'interopérabilité des applications, en **exploitation**, tout au long du cycle de vie des produits (PLM). La thèse de **Salah Baïna** [TH2] s'est focalisée sur l'interopérabilité orientée modèle en phase **d'ingénierie**. Cependant, le produit est le vecteur de l'interopérabilité des informations partagées par les applications. La recherche selon cet axe est actuellement initié dans le cadre de la thèse d'**Angela Tursi** [TH3] dont l'objectif scientifique est de formaliser la vue « données techniques » d'une ontologie « produit » (Figure 21) représentant l'ensemble des connaissances nécessaires à l'interopérabilité des applications d'entreprises manufacturières manipulant des informations sur ces produits. En effet, le produit étant l'élément central et commun à toutes applications au sein d'une entreprise, il est naturellement le vecteur assurant l'interopérabilité de ces applications. Cependant, afin d'être indépendante des applications elles-mêmes, cette ontologie doit assurer la formalisation de la connaissance relative aux produits pour faciliter l'interfaçage des applications. En ce sens, les produits deviennent actifs car ils intègrent la connaissance relative à leur cycle de vie et participent ainsi à l'interopérabilité des applications qui les gèrent. Il est ainsi nécessaire que ces applications, devenant ainsi actrices d'un système collaboratif centré sur le produit, implémentent des services associés, basés sur l'ontologie commune issue des produits.

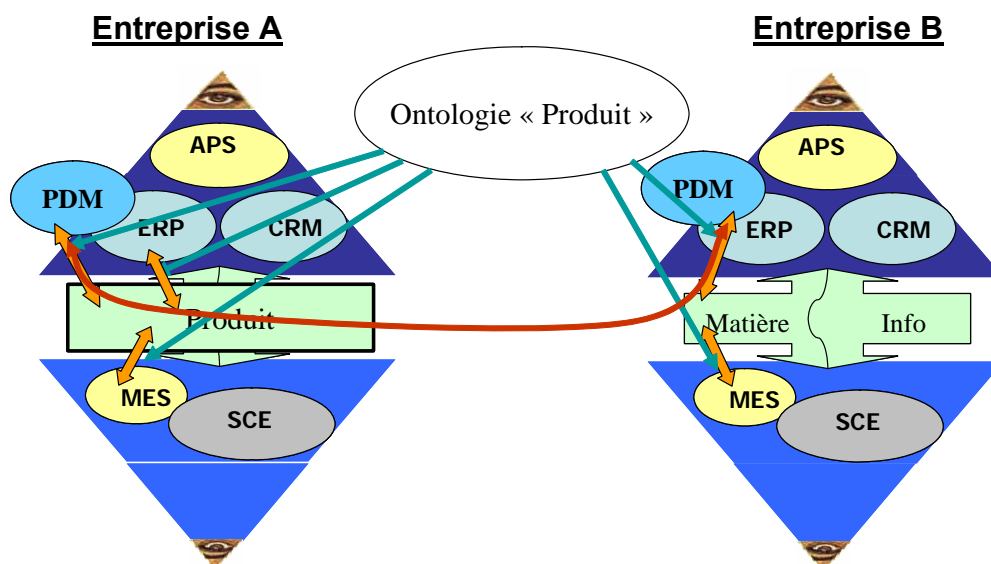


Figure 21 : L'ontologie « produit » pour l'interopérabilité des applications

Elles doivent ainsi s'adapter à leur environnement ambiant. Une collaboration avec l'ERPI (EA 1147 INPL (ENSGSI)), dans le cadre de la thèse de **Jean-**

**Philippe Auzelle** (Directeur de thèse : Prof. G. Morel), doit s'intéresser à ce problème par la formalisation d'une ontologie des services offerts par les applications en présence d'un produit « actif » au sens de la thèse d'Angela Tursi (Figure 22).

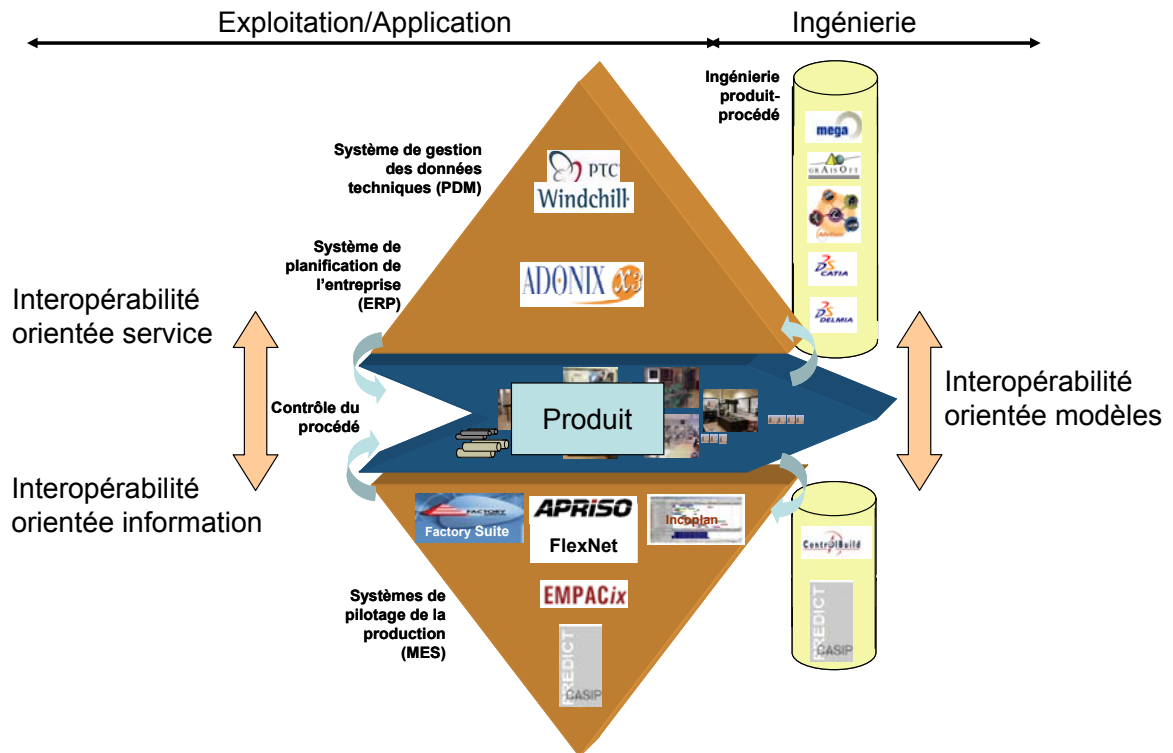


Figure 22 : L'ontologie orientée informations et services centrée sur le produit pour l'interopérabilité des applications

- Un axe « **synchronique** », qui s'intéresse, à des instants donnés le long du cycle de vie des produits, à l'interopérabilité des applications depuis le niveau des équipements de terrain jusqu'au niveau gestion.

Le produit étant actif de par la connaissance qu'il intègre, il peut lui-même offrir des services aux applications de l'entreprise. Des technologies d'identification comme les RFID associées aux services web ou aux spécifications uPnP permettent de mettre en œuvre des architectures orientées services (SOA : Service Oriented Architecture) au niveau des processus de production. En ce sens, la thèse de **Dragos Dobre** (Directeur de thèse : Prof. G. Morel) a été initiée sur ce sujet.

Finalement, alors que nous nous sommes focalisés principalement à l'interface B2M (Business To Manufacturing) de l'entreprise, il est envisageable d'étendre ce principe de formalisation à l'interface entre les niveaux « Manufacturing » et « Process » pour étendre l'ontologie « produit » par une vue relative aux processus de production. En ce sens, une collaboration avec M. le Prof. Christian Diedrich (IFAK, Germany) est en préparation.

De manière plus large, ce thème de recherche intéresse aussi d'autres domaines. En particulier, l'équipe/projet PRODEMAs du CRAN, dirigée par M. le Prof. Benoit lung,

s'intéresse aux apports de la formalisation d'ontologies pour l'interopérabilité des processus de maintenance, éventuellement distribués. La généralisation des contributions issues de ce projet de recherche apporte la formalisation des processus d'entreprise, et donc de maintenance, indépendamment du domaine d'application facilitant ainsi leur interopérabilité sémantique.

## 4. METHODE DE TRAVAIL

Pour mener à bien cette action de recherche (et plus globalement ce projet), avec des contraintes telles que la mise en commun d'approches issues de communautés différentes, la fédération de chercheurs et travaux préalablement isolés, nous souhaitons mettre en place une architecture collaborative supportant les différents outils-méthodes employés et des applications d'entreprises. Ces applications s'appuieront sur les systèmes de production présents à l'Atelier Inter-établissement Lorrain comme émulation d'une entreprise réelle.

En complément, un des résultats du réseau d'excellence INTEROP concerne la mise en place d'un Laboratoire Virtuel (VLab) en « Interopérabilité d'Entreprise ». Ce laboratoire virtuel devrait comprendre des pôles d'excellence sur des thématiques liées à ce domaine. Dans notre cas, nous devrions participer au pôle d'excellence nancéen (CRAN + LORIA) voire Grand-Est (Est-France, Luxembourg, Belgique). De part sa nature virtuelle et délocalisée, chaque pôle devra se doter d'une plateforme coopérative commune intégrant diverses applications d'entreprises de niveau gestion et de niveau production pour la mise en place d'expérimentations.

Dans une première phase, cette plateforme devrait nous permettre de récupérer des informations de retour d'expérience sur les applications mises en œuvre, à partir d'études de cas industriels ou sur la base d'une émulation d'entreprise, pour construire des modèles d'entreprises et les ontologies du domaine nécessaires à la formalisation des concepts. Ensuite, la mise en œuvre, à travers l'architecture collaborative, des processus d'ingénierie de l'interopérabilité feront intervenir des compétences pluridisciplinaires que nous trouverons soit au sein du CRAN, soit à travers nos collaborations existantes. En ce sens, cette plateforme est un support concret à l'expérimentation, dans des situations proches de situations industrielles, de nos travaux pour juger de leur pertinence, efficacité et efficacité. Ce qui doit permettre dans une seconde phase de la méthodologie de travail, de transformer toutes ces expérimentations en développement scientifique afin de formaliser les fondements théoriques de notre démarche.

## 5. JUSTIFICATIF

### **Dans un contexte local**

Ce projet de recherche se justifie localement par la nécessaire pluridisciplinarité des compétences requises. En ce sens, il fédère, autour d'une problématique industrielle commune, la recherche fondamentale et appliquée (voire technologique) de chercheurs du laboratoire, appartenant actuellement à différentes équipes/projets. Son ancrage, en formation, sur le Master IS-EEAPR, le Master INE et l'ESIAL permet

d'assurer des ressources en étudiants de 3<sup>ème</sup> cycle. Notre collaboration sur ce thème avec des chercheurs du LORIA (UMR 7503) apporte des compétences dans le domaine des outils et langages informatiques mis en œuvre.

### **Dans un contexte régional**

Le Plan régional en faveur du développement international des PME, mis en place par le conseil régional de Lorraine, a montré la nécessité d'accentuer les collaborations entre les entreprises régionales et l'international. Ces collaborations, d'abord économiques, impliqueront une nécessaire interopérabilité des applications d'entreprises. En particulier, des efforts sont engagés pour favoriser les coopérations transfrontalières au sein de la « Grande Région », à savoir Sarre, Lorraine, Luxembourg, Palatinat et Wallonie. La possible mise en place du pôle d'excellence Grand-Est en interopérabilité des applications d'entreprises, intégré au VLab, favorisera les synergies de recherche dans ce domaine.

### **Dans un contexte national**

Ce projet de recherche s'inscrit dans les objectifs scientifiques du GDR MACS. Notre participation active au GT ECI (Enterprise Communicante et Interopérabilité) commun au GDR MACS et GDR I3 favorise les synergies avec d'autres laboratoires de recherche afin de conforter cette thématique. Notre participation à l'AFIS (Association Française d'Ingénierie Système) et en particulier au GT MO (Méthodes et Outils) favorise les contacts industriels avec des entreprises engagées dans cette problématique pour une validation de nos propositions. D'autre part, nos partenariats industriels (Groupe Soufflet, EDF-DER, ...) nous permettront de valider, de manière pragmatique, nos résultats de recherche.

### **Dans un contexte international**

Notre participation à différents projets européens et au réseau d'excellence INTEROP NoE nous conforte sur l'identification d'une communauté scientifique internationale sur ce thème. Ces coopérations ont déjà donné lieu à l'encadrement de la thèse en cotutelle de Sergio Terzi [TH1] et au démarrage de la thèse en cotutelle d'Angela Tursi [TH3]. Notre participation comme vice-président du TC 5.3 de l'IFAC nous permet de confronter nos idées et de co-publier avec des chercheurs de niveau international (Prof. Arturo Molina (MIT, Mexico) [CI25], Dr. Lawrence Whitman (Wichita State University, USA) [RI6] ainsi que de généraliser nos propositions à des domaines connexes (Prof. Christian Diedrich, (IFAK, Germany)).

L'ensemble des items précédents de justification de ce projet nous permet de dégager des indicateurs dont l'évaluation est a priori positive (cohérence, effectivité, pertinence, ...) ayant pour conséquence que nous le défendons, en l'adaptant, pour le prochain quadriennal 2009-2012 du CRAN.

## **IV Activités d'enseignement et de son administration**

---

### **1. FORMATION INITIALE ET CONTINUE**

---

Mon activité d'enseignement a débuté au début de ma thèse en 1987 affecté un poste d'assistant associé (service complet de 192 HTD) à l'UFR STMIA, suivi en 1988 par mon affectation comme Volontaire Formateur Informatique pendant mon service militaire dans un GRETA et, en 1989, par une affectation sur un poste d'ATER (Attaché Temporaire d'Enseignement et de Recherche, service complet de 192 HTD) à l'UFR STMIA. Pendant cette période, mon activité d'enseignement a été principalement composée de cours magistraux, de travaux dirigés et de travaux pratiques en 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> cycle (Maîtrise et DESS) dans les domaines du Génie Automatique et du Génie Informatique. J'ai, particulièrement, participé au montage de nouvelles manipulations de TP d'automatisation et de spécifications des automatismes.

Lors de mon affectation comme Maître de Conférences à l'ENSTIB (Ecole Nationale Supérieure des Technologies et Industries du Bois) (Emploi 61<sup>ème</sup> section du CNU n°1090), mes activités d'enseignement ont été centrées sur mes compétences en formation initiale et principalement l'automatisation des Systèmes à Evénements Discrets. Mes compétences dans le domaine de la modélisation des systèmes d'information et les besoins fortement exprimés par les industriels de la filière bois, impliqués dans la définition des programmes de l'école, m'ont permis d'orienter certains enseignement optionnels, à partir de 2000 dans cette direction. Cette évolution des programmes était aussi synchronisée avec une réorientation de mon activité de recherche et mon implication dans des projets européens débutée en 1998 [PE1].

A mon arrivée à l'ENSTIB, j'ai assuré la responsabilité pédagogique du DESS « Technique du Bois » (Directeur : Prof. Patrick Martin) jusqu'en 1995. Le personnel enseignant à l'école étant peu nombreux, cette responsabilité consistait non seulement à la mise en place des emplois du temps et au suivi des élèves, mais aussi à l'organisation des projets et des stages industriels. Suite à la transformation de ce DESS en 1996 (devenu le DESS « Bois dans la construction »), j'ai pris la responsabilité de l'orientation « Productique » de 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> année ingénieur en faisant intervenir des collègues de l'école mais, majoritairement, des intervenants extérieurs issus de l'industrie.

En 1999, après l'arrivée des NTIC (Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication) à l'école, j'ai assuré la mise en place de ces technologies et la formation interne des enseignants, ingénieurs, administratifs et techniciens. J'ai aussi coordonné le développement du premier site WEB de l'école et assuré les fonctions de webmaster. De part mes compétences dans ce domaine, j'ai été nommé correspondant TIC de l'école à l'Université Henri Poincaré Nancy I.

Afin de recentrer mon activité d'enseignement sur mon activité de recherche, j'ai demandé et obtenu, en 2002, ma mutation interne à l'UHP sur un poste à l'ESIAL

(Ecole Supérieure d'Informatique et Applications de Lorraine) (Emploi 61<sup>ème</sup> section du CNU n° 0618). En ce sens, j'assume, depuis 2002, la responsabilité de la spécialisation de 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> année de l'école intitulée « Systèmes d'Information d'Entreprises » ayant pour objectif de former des ingénieurs « intégrateurs et architectes des systèmes d'information » nécessitant des connaissances en modélisation d'entreprise et architecture des applications d'entreprise de type progiciel. Afin d'adapter cette spécialisation aux nouvelles technologies qui se mettent en place dans les entreprises et ainsi répondre aux nouveaux besoins de modernisation des systèmes d'information, nous avons adapté ou créé de nouveaux modules d'enseignement dont j'assume la responsabilité :

- Modélisation d'Entreprise
- Bases de Données et Systèmes d'Information
- Interopérabilité des Applications d'Entreprise

La synthèse de mes activités d'administration de l'enseignement est résumée dans le Tableau 8).

Afin de supporter ces nouveaux enseignements et répondre à l'évolution technologique croissante des entreprises qui les amène à mettre en œuvre des progiciels de gestion intégrée d'entreprise (PGI/ERP), j'ai participé à deux projets pédagogiques impliquant diverses formations de l'université, concernant :

- D'une part, l'utilisation, le paramétrage et le développement d'un ERP (Enterprise Resource Planning),
- D'autre part, dans le cadre d'une Action Collective impliquant un ensemble de consultants de la région, la mise en œuvre de la méthodologie de modélisation d'entreprise GRAI, en particulier ses aspects décisionnels, au travers de l'environnement de modélisation eMagim.

Ces deux projets m'ont permis d'acquérir des compétences et de l'expérience dans ces domaines afin d'assurer un transfert pragmatique en formation initiale et le support des consultants associés au projet.

Ceci a donné lieu à la création, en 2003/2004, d'un nouveau module d'enseignement ESIAL (Progiciels de Gestion Intégré).

En formation initiale, notre service, quantitativement développé dans le Tableau 9 comporte des cours magistraux, des travaux dirigés et des travaux pratiques dans des modules pour la plupart en lien, depuis 2002, avec notre thématique de recherche autour du concept de modélisation et d'interopérabilité d'entreprise.

Le transfert de ces connaissances à d'autres formations universitaires nous a permis de nous impliquer en enseignement de 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> cycle dans les formations suivantes :

- DEA PA (Production Automatisée) option « Outils d'ingénierie du CIM »
- DESS PAI (Production, Automatisation et Information)
- DEA GSI (Génie des Systèmes Industriels)

Depuis cette année, dans le cadre de la mise en place du LMD, j'interviens dans deux unités d'enseignement du Master « IS-EEAPR », en 1<sup>ère</sup> année (Génie Informatique et Intégration Système) et en 2<sup>ème</sup> année recherche (Interopérabilité des systèmes d'entreprise). Je suis aussi responsable, dans le Master « IS-EEAPR » en 2<sup>ème</sup> année professionnelle, d'une nouvelle unité d'enseignement intitulée « Interopérabilité B2M ».

| Période |      | Formation                               | Activités   |
|---------|------|---|---|
| 2006    |      | Master IS-EEAPR<br>Master INE           | <b>Responsable de l'UE</b> « Interopérabilité B2M » commune à 3 spécialités professionnelles de deux Masters  |
| 2005    |      | ESIAL                                   | Membre du jury DPE de l'ESIAL   |
| 2004    |      | ESIAL                                   | Nommé à la commission de choix de l'ESIAL   |
| 2004    |      | ESIAL                                   | Elu du Conseil d'administration de l'ESIAL – Collège des Maîtres de Conférences   |
| 2002    | 2006 | ESIAL                                   | <b>Responsable de 3 modules</b> de formation à l'ESIAL (« Bases de Données et Systèmes d'Information », « Modélisation d'Entreprise », « Interopérabilité des Applications d'Entreprise »)                    |
| 2002    | 2006 | ESIAL                                   | <b>Responsable pédagogique</b> de la spécialisation SIE « Systèmes d'Information d'Entreprises » de 2 <sup>ème</sup> et 3 <sup>ème</sup> année. Adaptation du programme pédagogique.                          |
| 2002    |      | ESIAL                                   | <b>Mutation interne à l'ESIAL</b>   |
| 1999    | 2002 | ENSTIB                                  | <b>Responsable de la communication</b> , mise en place d'un serveur WEB et correspondant TIC avec l'UHP   |
| 2000    |      | Université d'été européenne             | <b>Responsable pédagogique</b> de l'Université d'été Européenne « New Technologies for Information & Communication in training: Application to the areas of wood and maintenance », 10-22 juillet 2000, Nancy |
| 1996    | 1998 | ENSTIB                                  | <b>Responsable pédagogique</b> de l'orientation Productique de 2 <sup>ème</sup> et 3 <sup>ème</sup> année.  |
| 1995    | 2001 | ENSTIB                                  | Elu du Conseil d'administration de l'ENSTIB – Collège des Maîtres de Conférences  |
| 1994    |      | Université d'été                        | <b>Responsable pédagogique</b> de l'Université d'été « Méthodes, Langages et Outils pour la Spécification et la conception des Systèmes Automatisés de Production »   |
| 1994    |      | Université d'été                        | <b>Responsable pédagogique</b> de l'Université d'été « Application de la méthode SADT/IDEF0 à l'automatisation d'un système de production réel sur la base d'un modèle de référence particulier »             |
| 1993    |      | Formation européenne COMETT             | <b>Responsable pédagogique</b> de la Formation Européenne COMETT Ca 93 n°93/1/7609 « Automation Engineering » animé par le CRAN, l'AIPL et l'AUEF Lorraine, May 16-20, 1993                                   |
| 1993    |      | Université d'été                        | <b>Responsable pédagogique</b> de l'Université d'été « Application de la méthode SADT/IDEF0 à l'automatisation d'un système de production réel sur la base d'un modèle de référence particulier »             |
| 1992    |      | Université d'été                        | <b>Responsable pédagogique</b> de l'Université d'été « Application de la méthode SADT/IDEF0 à l'automatisation d'un système de production réel sur la base d'un modèle de référence particulier »             |
| 1992    |      | Plan Académique de Formation            | <b>Responsable pédagogique</b> d'un Plan Académique de Formation « Application de SADT à l'Automatique » »  |
| 1991    | 1995 | DESS « Techniques du Bois » de l'ENSTIB | <b>Responsable pédagogique</b>  |

Tableau 8 : Synthèse de mes activités d'administration de l'enseignement



Meta-modèles et modèles pour l'intégration et l'interopérabilité des applications d'entreprises de production

| Affectation                |   | ENSTIB |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | ESIAL |       |       |       | Total |     |
|----------------------------|---|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|
| Public                     | Discipline  | Type   | 91/92 | 92/93 | 93/94 | 94/95 | 95/96 | 96/97 | 97/98 | 98/99 | 99/00 | 00/01 | 01/02 | 02/03 | 03/04 | 04/05 | 05/06 |       |     |
| DEA PA                     | Ingénierie du CIM                                   | C      |       |       |       |       | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 12    | 11    | 6     |       | 57    |     |
| DEA GSI                    | Modélisation d'entreprise                           | C      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 5     | 5     | 5     |       | 15    |     |
| Master IS M2 Recherche     | Interopérabilité des systèmes d'entreprise          | C      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 8     | 8     |     |
| Master IS M2 Professionnel | Interopérabilité B2M                                | TD     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 8     | 8     |     |
|                            |   | TP     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 12    | 12    |     |
| Master IS M1 Professionnel | Génie Informatique et Intégration système           | C      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 2     | 2     |     |
|                            |   | TD     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 16    | 16    |     |
| DESS PAI                   | Modélisation d'Entreprise                           | C      |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 12    | 12    | 12    | 12    | 12    |       | 60    |     |
|                            |   | TD     |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 12    | 12    | 12    | 12    | 12    |       | 60    |     |
|                            |   | TP     |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 8     | 8     | 8     |       |       |       | 24    |     |
|                            | Génie Automatique                                   | C      | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     |       |       |       |       |       |       | 36  |
|                            |   | TD     | 8     | 8     | 8     | 8     | 8     | 8     | 8     | 8     | 8     |       |       |       |       |       |       |       | 72  |
|                            |   | TP     | 10    | 10    | 10    | 10    | 10    | 10    | 10    | 10    | 10    |       |       |       |       |       |       |       | 90  |
|                            | Ingénierie de bases de données                      | TD     |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 6     | 6     | 6     | 9     | 8     |       |       | 35  |
|                            |   | TP     |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 16    | 16    | 16    | 12    | 12    |       |       | 72  |
|                            | Informatique  | TD     | 20    | 20    | 20    | 20    | 20    | 20    | 20    | 20    | 20    |       |       |       |       |       |       |       | 180 |
|                            | Projets   | TD     | 10    | 10    | 10    | 10    | 10    | 10    | 10    | 10    | 10    | 9     | 10    | 15    | 10    | 10    |       |       | 144 |
| ESIAL 3                    | Interopérabilité des Applications d'entreprise      | C      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 4     | 4     |     |
|                            |   | TD     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 20    | 20    |     |
|                            | Gestion Intégrée d'Entreprise II                    | C      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 10    |       |       |       | 10    |     |
|                            | Modélisation d'Entreprise                           | C      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 2     | 2     | 2     |       |       | 6   |
|                            |   | TD     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 8     | 8     | 8     | 4     |       | 28  |
|                            |   | TP     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 16    | 16    | 16    | 4     |       | 52  |
|                            | Ingénierie d'Automatisation                         | C      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 4     | 4     |       |       | 8   |
|                            |   | TP     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 20    | 20    | 20    |       |       | 60  |
|                            | ISO 10303 STEP                                      | C      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 4     | 4     | 4     |       | 12  |
|                            | Projet  | TD     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 25    | 25    | 25    | 25    | 25    |       | 125 |
| ESIAL 2                    | Base de données et Systèmes d'Information           | C      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 10    | 10    | 10    |       | 30    |     |
|                            |   | TD     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 20    | 20    | 20    |       | 60    |     |
|                            |   | TP     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 20    | 20    | 20    |       | 60    |     |
|                            | Gestion de la Production                            | TD     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 20    | 18    | 20    |       |       | 58  |
|                            |   | TP     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 12    | 12    | 8     |       |       | 32  |
|                            | Gestion Intégrée d'Entreprise I                     | TD     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 16    | 16    |       |       | 32  |
|                            |   | TP     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 20    | 20    |       |       | 40  |
|                            | Découverte de la recherche                          | TD     |       |       |       |       |       |       |       |       | 15    | 8     | 4     | 4     | 4     | 8     |       |       | 43  |
| ENSTIB 3                   | ISO 10303 STEP                                      | C      |       |       |       |       |       |       |       |       | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     |       | 24    |     |
|                            | Systèmes d'information et modélisation d'entreprise | C      |       |       |       |       |       |       |       |       | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 8     |       | 28    |     |
|                            |   | TP     |       |       |       |       |       |       |       |       | 14    | 14    | 14    | 14    | 14    | 12    |       | 82    |     |
|                            | Programmation orientée objet                        | TD     | 10    | 10    | 10    | 10    | 10    | 10    | 10    | 10    |       |       |       |       |       |       |       |       | 80  |
|                            |   | TP     | 20    | 20    | 20    | 20    | 20    | 20    | 20    | 20    |       |       |       |       |       |       |       |       | 160 |
| ENSTIB 2                   | Automatisation des SED                              | C      | 20    | 20    | 20    | 20    | 20    | 20    | 20    | 20    | 20    | 20    | 20    | 14    |       |       |       | 234   |     |
|                            |   | TD     | 15    | 15    | 15    | 15    | 15    | 15    | 15    | 15    | 15    | 15    | 15    | 8     |       |       |       | 173   |     |
|                            |   | TP     | 30    | 30    | 30    | 30    | 30    | 30    | 30    | 30    | 30    | 30    | 30    |       |       |       |       | 330   |     |
|                            | Modélisation UML                                    | TD     |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     |       |       | 20  |
|                            |   | TP     |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 8     | 8     | 8     | 8     | 8     |       |       | 40  |
| ENSTIB 1                   | Informatique de base                                | C      | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     |       |       |       |       | 44    |     |
|                            |   | TD     | 8     | 8     | 8     | 8     | 8     | 8     | 8     | 8     | 8     | 8     | 8     |       |       |       |       | 88    |     |
|                            |   | TP     | 20    | 20    | 20    | 20    | 20    | 20    | 20    | 20    | 20    | 20    | 20    |       |       |       |       | 220   |     |
| IUFM                       | Automatisation des SED                              | C      | 50    | 50    | 50    | 50    | 50    | 50    | 50    | 50    | 50    | 50    | 50    |       |       |       |       | 460   |     |
|                            |   | TP     | 60    | 60    | 60    | 60    | 60    | 60    | 60    | 60    | 60    | 30    | 30    | 30    |       |       |       |       | 570 |
| <b>Total EQ TD</b>         |   |        | 281   | 281   | 281   | 281   | 287   | 287   | 287   | 287   | 245   | 248   | 270   | 308   | 291   | 282   | 111   |       |     |

Tableau 9 : Récapitulatif quantitatif de nos enseignements entre 1991 et 2006 (le faible nombre d'heures en 2005/2006 est dû à ma position en CRCT de 6 mois)

Finalement en complément de cette formation initiale, j'ai aussi participé (en dehors de notre période de vacances) à des formations continues de type Université d'été, PAF et formation Européenne (Tableau 10) de 1987 à 1993.

| Titre de la formation   | Description  |
|---|--|
| Grafcet   | Université d'été en juillet 1993 à l'ENS de Cachan – <u>Responsable</u> : Lesage J.J.                  |
| Automatisation et Ingénierie des Systèmes de Fabrication Manufacturière | Université d'été en juillet 1993 – <u>Responsable</u> : Lombard M.                                     |
| EAO - Analyse Systémique  | Plan Académique de Formation en 1993 – <u>Responsable</u> : Lhoste P.                                  |
| EAO - Analyse Systémique  | Plan Académique de Formation en 1992 – <u>Responsable</u> : Lhoste P.                                  |
| Analyse Systémique : outils et méthodes d'analyse structurée            | Université d'été en juillet 1992 – <u>Responsable</u> : Lhoste P.                                      |
| Analyse Systémique : outils et méthodes d'analyse structurée            | Université d'été en juillet 1991 – <u>Responsable</u> : Lhoste P.                                      |
| Spécification et conception des automatismes                            | Stage INRS NANCY du 3 au 7 décembre 1991   |
| Analyse Systémique  | Plan Académique de Formation en 1991 – <u>Responsable</u> : Lhoste P.                                  |
| Analyse Systémique : outils et méthodes d'analyse structurée            | Université d'été en juillet 1990 – <u>Responsable</u> : Lhoste P.                                      |
| Intégration des Systèmes Automatisés                                    | Formation européenne programme COMETT AUEF - EUREP, 5-9 Novembre 1990 – <u>Responsable</u> : Lhoste P. |
| Spécification et conception des automatismes                            | Stage INRS NANCY du 26 au 30 novembre 1990   |
| Analyse Fonctionnelle d'un Système Productique                          | Plan Académique de Formation en 1990 – <u>Responsable</u> : Lhoste P.                                  |
| Formation à l'outil SPEX  | Laboratoire d'Automatique et de Micro-électronique de Montpellier, 17 et 18 mai 1990                   |
| Outils et méthodes d'analyse structurée                                 | Stage de formation à la société SPIE TRINDEL du 12 au 16 février 1990                                  |
| Automatique et Robotique  | Plan Académique de Formation en 1990 – <u>Responsable</u> : Morel G.                                   |
| Outils et méthodes d'analyse structurée                                 | Stage de formation à la société SPIE TRINDEL du 11 au 16 décembre 1989                                 |
| Spécification et conception des automatismes                            | Stage INRS NANCY du 1 au 5 juin 1989   |
| Spécification et conception des automatismes                            | Stage INRS NANCY du 2 au 6 mai 1987  |

Tableau 10 : Activités de Formation Continue entre 1987 – 1993 (autres que celles dans lesquelles j'ai assuré une responsabilité (Tableau 8))

## 2. R&D EN GENIE PEDAGOGIQUE

A l'issue des travaux de thèse de F. Mayer (Mayer, 1995) (Mayer 1996), j'ai participé à un projet d'innovation "ANVAR" [PI4] ayant pour objet la réalisation d'un Atelier de Génie Multimédia pour l'éducation et la formation [RPI6]. Cette action de recherche méthodologique et technologique avait pour objectif principal de promouvoir une intelligence collective et distribuée basée sur l'information, défi auquel est confrontée aujourd'hui toute communauté humaine.

Qu'est-ce que l'intelligence collective ? C'est une intelligence partout distribuée, sans cesse valorisée, coordonnée en temps réel et qui aboutit à une mobilisation effective des compétences individuelles (Levy, 1994).

Si l'assertion précédente se justifie aisément pour une organisation dont la finalité est la production (une entreprise, par exemple), cela est encore plus vrai pour la survie des communautés scientifiques et techniques, par le biais de leur formation.

En effet, la complexification croissante des problèmes scientifiques nécessite des moyens nouveaux pour en entreprendre une étude: personne ne peut prétendre tout savoir mais personne ne peut affirmer ne pas savoir quelque chose. Les premiers résultats de ce projet ont montré que l'analyse d'un tel concept fait appel à diverses compétences, mêlant une approche de formation individualisée par compétences centrée sur la pédagogie et les sciences de l'éducation, à notre approche d'enseignement concourant centré sur la modélisation d'un système en situation quasi industrielle de travail et les sciences pour l'ingénieur. Seule une "intelligence collective" peut apporter quelques lumières sur un concept qui trouve sa légitimité dans une approche pluridisciplinaire.

D'un point de vue technologique, ces travaux montrent une application de la simulation de comportements mettant en œuvre des techniques de modélisation objet et multimédia [C18][C19]. Les résultats actuels concernent la définition d'objets techniques multimédia, virtualisant un système de production réel, pour la mise en situation virtuelle d'un apprenant, en intégrant l'ensemble des savoir-faire nécessaires à l'apprentissage de compétences professionnelles [RN3].

Les résultats de ce projet d'innovation ont ainsi contribué à la création d'une nouvelle société dans ce domaine émergent, et conforté nos recherches méthodologiques par notre participation à un nouveau projet d'innovation ANVAR [P15], en collaboration avec cette société. En effet, l'essor des technologies de l'information, et en particulier celui du multimédia, permet désormais de définir dans le domaine éducatif des nouveaux processus de transmission des savoirs. Les possibilités offertes par une telle technologie : l'interactivité, l'intégration de divers médias, ..., l'animation et la simulation sont autant de plus-values pour la formation professionnelle et technique, initiale et continue, favorisant les processus d'auto-formation des apprenants et la réduction de l'écart entre le contenu de formation et les situations réelles de travail. La formation devient ainsi un besoin de chaque instant et qui plus est se définit différemment pour chacun, d'où la nécessité d'individualisation. Or, l'efficacité d'une telle technologie ne peut se baser sur des contenus pédagogiques traditionnellement linéaires et demande donc de les redéfinir comme des scénarios dynamiques et interactifs intégrant les objets de formation comme autant "d'objets multimédia". Le transfert industriel de nos compétences scientifiques dans le domaine de la meta-modélisation de connaissances, appliquée à l'ingénierie pédagogique [C113] nous a permis de contribuer tant à l'ingénierie pédagogique qu'à l'ingénierie multimédia afin de développer un Atelier de Génie Logiciel pour concevoir et produire des cours multimédia à vocation pédagogique, sur la base d'un processus formel de modélisation d'un système d'information. Cette action d'industrialisation a donné lieu à deux rapports de fin de contrat [RP17][RP18]. L'atelier logiciel OPALÉ ainsi développé est maintenant commercialisé et devrait être utilisé, au sein de l'université, pour la gestion des cours aux étudiants en Master.

Cependant, tout parcours individualisé de formation doit passer par une phase d'évaluation pré-formative de l'apprenant afin d'identifier les besoins en formations par rapport à un objectif. Dans ce cadre, la définition d'un parcours pédagogique, sur la base d'une évaluation pré-formative, peut consister à l'instanciation d'une

ontologie pédagogique, modèle basé sur les connaissances et compétences formalisées dans la définition d'un métier pour lequel il existe des formations individualisées. Nous allons donc essayer de mettre en application nos résultats de recherche dans le domaine de la définition et l'utilisation d'ontologies, dans le cadre d'un contrat industriel débutant en 2006 (EVALU) [P16], avec la société qui actuellement commercialise l'atelier OPALE, afin d'apporter à ce dernier la nécessaire adaptabilité aux besoins de l'apprenant par rapport à son objectif de formation individuel.

### 3. PROJET PEDAGOGIQUE

Dans le cadre du Master IS (Ingénierie Système en EEAPR) nouvellement co-habilité à l'Université Henri Poincaré Nancy I et l'Institut National Polytechnique de Lorraine, en 2005/2006, nous avons proposé un parcours M2 recherche européen dans le domaine de l' « Intégration et l'interopérabilité des applications d'entreprise pour l'ingénierie système ». Ce parcours est composé d'Unités d'Enseignement (UE) communes au Master IS et au Master Informatique de l'Université Henri Poincaré Nancy I ainsi que des UE provenant du Master « Systèmes pour le traitement de l'Information » de l'Université de Turin (Italie). Un étudiant peut ainsi choisir d'acquérir 60 ECTS avec un premier semestre en France et effectuer son stage de recherche en Italie dans un laboratoire de l'Université de Turin ou vice-versa. Ce parcours a aussi une déclinaison purement locale avec des UE provenant des deux Masters de l'UHP. Cette version francophone du parcours pourrait aussi faire intervenir des UE provenant d'autres universités françaises du domaine (Université de Bordeaux 1, Université de Lille, ...).

Nous participons, dans le cadre du réseau d'excellence INTEROP, à une activité visant la création d'un cursus européen de niveau Master dans le domaine de l'interopérabilité des logiciels et applications d'entreprise.

Mon objectif pédagogique est, dans une première étape, de mettre en pratique le parcours actuel entre la France et l'Italie (un agrément bilatéral ERASMUS est déjà en place) pour ensuite l'étendre à d'autres universités européennes et le proposer au sein du futur cursus européen INTEROP.

Dans un cadre plus local, ma responsabilité de la spécialisation SIE (Systèmes d'Information d'Entreprises) de 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> année de l'ESIAL me permet de proposer, en concertation avec la direction des études et mes collègues, des adaptations du programme pédagogique visant à aligner certains modules de la spécialisation avec des UE du parcours Master. En ce sens, j'ai proposé et mis en œuvre en 2005/2006 un module « Interopérabilité des Applications d'Entreprises » de 3<sup>ème</sup> année de la spécialisation SIE, qui est compatible (aux pré-requis près) avec l'UE « Interopérabilité B2M » du Master IS dont j'assume aussi la responsabilité.

A terme, l'ESIAL pourrait proposer une spécialisation spécifique mixant compétences en informatique, en modélisation et en ingénierie système, formant des ingénieurs ayant une vision globale et interdisciplinaire en mettant l'accent sur l'interopérabilité des entreprises et de leurs processus en termes de réactivité et pro-activité de la production, distribution de la décision et de l'information, optimisation de la décision intégrant les aspects financiers, sécuritaires, environnement, et traçabilité électronique.



## V Conclusion Générale

---

Nos activités de recherche sur la meta-modélisation et la modélisation dans un contexte d'intégration et d'interopérabilité des applications d'entreprises de production, menées au sein du CRAN et développées dans ce mémoire, ont toujours été initiées par des problématiques de la communauté nationale mais surtout internationales lors de notre participation à divers projets européens, avec comme objectif de rationaliser les résultats de ces applications par la formalisation de leurs fondements scientifiques. En particulier, notre forte implication dans le réseau d'excellence INTEROP, depuis 2003, nous a permis de renforcer nos connaissances en relation avec d'autres domaines scientifiques et ainsi faire évoluer notre thématique scientifique et nouer de très nombreuses relations avec d'autres communautés scientifiques européennes. De plus, notre responsabilité comme vice-président du TC 5.3 « Enterprise Integration and Networking » de l'IFAC nous impose une rigueur scientifique que nous pouvons valoriser, non seulement dans notre production scientifique personnelle et dans nos responsabilités d'enseignement mais aussi dans l'encadrement doctoral passé, en-cours et futur afin d'asseoir notre activité de recherche sur des bases qualitatives non réfutables.

C'est dans ce contexte scientifique très prenant et motivant en y associant une composante relationnelle forte aussi bien vis à vis du monde académique qu'industriel et étudiantin, national et international, que nous souhaitons continuer, pour acquérir une reconnaissance au niveau national plus marquée (participation à des jurys de thèse à l'extérieur de l'UHP), nos activités à la fois de recherche mais aussi d'enseignement et d'administration par un transfert permanent de nos connaissances et compétences.

D'un point de vue purement quantitatif, notre travail a fait l'objet d'une soixantaine de publications dont 13 dans des revues (internationales ou nationales) et 1 dans un ouvrage. 7 communications ont fait l'objet d'une invitation. Bon nombre de ces publications ont été coécrites avec des industriels et des universitaires extérieurs au CRAN, attestant notre ouverture et notre reconnaissance de la communauté industrielle et scientifique. Nous avons coédité 1 numéro spécial d'un journal international et coédité 6 actes de workshops internationaux. Nous avons participé à 13 projets ou contrats dont 7 dans un cadre Européen (25 livrables au total). Nous avons co-encadré, codirigé ou dirigé 3 étudiants en thèse (dont 1 en cours), 1 post-doctorat, 9 DEA comme l'attestent les publications communes et notre participation aux jurys. Nous avons aussi coorganisé 6 sessions ou tracks dans des conférences internationales de haut niveau et coorganisé 6 workshops. Nous avons enfin exercé plusieurs activités de critique scientifique pour des revues ou des colloques et participé comme examinateur au jury d'une thèse extérieure au CRAN.



## VI Production scientifique

---

### 1. COEDITEUR D'EDITIONS SPECIALES DE JOURNAUX OU D'ACTES

---

- ED1 **Panetto H.**, Bernard A., Kosanke K. (Eds) (2003). Product and Process models for Enterprise Integration. *Chapter editors in: Proceedings of the ISPE-CE2003 conference on Concurrent Engineering: Research and Applications*, Madeira, Portugal, 26-30 July, 1 "Enhanced Interoperable Systems", 747- 835, ISBN 90-5809-623-8
- ED2 **Panetto H.** (Editor) (2005). Interoperability of Enterprise Software and Applications, *Proceedings of the Workshops of the IFIP/ACM SIGAPP INTEROP-ESA conference: EI2N, WSI, ISIDI and IEHENA 2005*, February 22<sup>nd</sup>, Geneva, Switzerland, Hermès Science publishing, June 2005, ISBN 1 905209 49 5
- ED3 Robert Meersman, Zahir Tari, Pilar Herrero, Gonzalo Méndez, Lawrence Cavedon, David Martin, Annika Hinze, George Buchanan, María S. Pérez, Víctor Robles, Jan Humble, Antonia Albani, Jan L. G. Dietz, **Hervé Panetto**, Monica Scannapieco, Terry A. Halpin, Peter Spyns, Johannes Maria Zaha, Esteban Zimányi, Emmanuel Stefanakis, Tharam S. Dillon, Ling Feng, Mustafa Jarrar, Jos Lehmann, Aldo de Moor, Erik Duval, Lora Aroyo (Eds.) (2005). *OTM Confederated International Workshops and Posters: AWeSOMe, CAMS, GADA, MIOS+INTEROP, ORM, PhDS, SeBGIS, SWWS, and WOSE 2005*. Agia Napa, Cyprus, October 31 - November 4, 2005. Springer Verlag, Lecture Notes in Computer Science, LNCS **3762**, ISBN 3-540-29739-1
- ED4 Bussler C., Haller A., Castellanos M., Weijters A., Boudjlida N., **Panetto H.**, Davenport T., Rosemann M., Godart C., Kindler E., Nüttgens M., Perrin O. (Eds). (2006). *Proceedings of the BPM2005 Business Process Management Workshops BPM 2005 International Workshops, BPI, BPD, ENEI, BPRM, WSCOBPM, BPS, Nancy, France, September 5, 2005*. Springer Verlag, Lecture Notes in Computer Science, February, LNCS **3812**, ISBN 3-540-32595-6
- ED5 **Panetto H.**, Goncalves R. Pereira C.E. (Eds) (2006). Special issue on E-Manufacturing and web-based technology for intelligent manufacturing and networked enterprise interoperability, *Journal of Intelligent Manufacturing*, **17/6**, December 2006, Springer Verlag, ISSN 0956-5515
- ED6 **Panetto H.**, Boudjlida N. (Eds). Interoperability for Enterprise Software and Applications, *Proceedings of the Workshops and the Doctorial Symposium of the Second IFAC/IFIP International Conference: EI2N, WSI and IS-TSPQ 2006*, March 21, 2006, Bordeaux, France, Hermès Science publishing, July 2006, ISBN 1 905209 61 4
- ED7 Eder J., Dustdar S., Davenport T., Mansar S. L., Reijers H., Rosemann M., Weijters T., Castellanos M., Sacca D., Boudjlida N., **Panetto H.**, et al. (Eds), *BPM 2006 International Workshops, BPD, BPI, ENEI, GPWW, DPM, semantics4ws, Vienna, Austria, September 4-7, 2006*, Springer Verlag, Lecture Notes in Computer Science, September, LNCS **4103**, ISBN 3-540-38444-8



## 2. REVUES AVEC COMITE DE LECTURE

---

### - Internationales (8)

- RI1 Lhoste P., **Panetto H.**, Roesch M. (1992). Grafcet : from Syntax to Semantics. *RAIRO-APII Special issue "Advances in Grafcet"*, **27/1**, 127-141, March 1993, ISSN 0296-1598
- RI2 Yiu R., lung B., **Panetto H.** (2003). A Mas Based E-Maintenance System With CBR Decision Support. *IFAC Engineering Applications of Artificial Intelligence*, **16/4**, 321-333, August 2003, ISSN: 0952-1976
- RI3 Morel G., **Panetto H.**, Zaremba M.B., Mayer F. (2003). Manufacturing Enterprise Control and Management System Engineering: paradigms and open issues. *IFAC Annual Reviews in Control*. **27/2**, 199-209, Elsevier, December 2003, ISSN: 1367-5788
- RI4 **Panetto H.**, Petin J.F., (2005). Metamodelling of production systems process models using UML stereotypes, *International Journal of Internet and Enterprise Management*, **3/2**, 155-169, Inderscience Publisher, ISSN: 1476-1300
- RI5 Petin J.F., Morel G., **Panetto H.** (2006). Formal specification method for production systems automation. *European Journal of Control*, **12/2**, 115-130, Hermès Science Publishers, March/April 2006, ISBN 2-7462-1480-6
- RI6 Whitman L. E., **Panetto H.** (2006). The missing link: culture and language barriers to interoperability. *IFAC Annual Reviews in Control*. **30/2**, 233-241, extended version from 9<sup>th</sup> *IFAC Symposium on Automated Systems Based on Human Skill And Knowledge*, May 22-24, 2006, Nancy, France, Elsevier, December 2006, ISSN: 1367-5788
- RI7 **Panetto H.**, Baïna, S., Morel G. (2007). Mapping the IEC 62264 models onto the Zachman framework for analysing products information traceability: a case study. *Journal of Intelligent Manufacturing*, Springer Verlag, ISSN 0956-5515, à paraître
- RI8 **Panetto H.** (2007). Towards a Classification Framework for Interoperability of Enterprise Applications. *International Journal of CIM*, Taylor & Francis, ISSN: 0951-192X, à paraître

### - Nationales (4)

- RN1 Munerato F., **Panetto H.**, Morel G., Pesty R. (1988). GRAFCET-LM3 : du GRAFCET à la Robotique. *Revue d'Automatique et de Productique Appliquées*, **1/4**, pp 63-75, 1988
- RN2 **Panetto H.**, Lhoste P., Morel G., Roesch M. (1991). SPEX : du Génie Logiciel pour le génie automatique. *Génie Logiciel et systèmes experts*, pp. 22-28, n° **25**, Décembre 1991
- RN3 **Panetto H.** (2000). Objets techniques multimédia pour la formation technologique à distance. *Revue Technologies & Formations*, pp. 16-20, n° **89**, mars/avril 2000, ISSN : 0297-1062.
- RN4 Baïna S., **Panetto H.**, Benali K. (2006). Apport de l'approche MDA pour une interopérabilité sémantique : Interopérabilité des systèmes d'information d'entreprise. *ISI (Ingénierie des Systèmes d'Information)*, **11/3**, 11-29, Hermès, Lavoisier, Juin 2006, ISBN : 2-7462-1524-1

## 3. PARTICIPATION À DES OUVRAGES

---

- OI1 Jardim-Goncalves R., **Panetto H.**, Nuñez M.J., and Steiger-Garcao A. (2007). *SMART-fm: setting interoperability in SME-based industrial environments*. 63-76. Contribution to a chapter (S. Terzi: Chapter editor) In: Taisch M., Thoben K. D. and Montorio M. (eds.). *Advanced Manufacturing: an ICT & Systems Perspective*, Taylor & Francis, February 2007, ISBN 9780415429122

## 4. CONFERENCES ET WORKSHOPS AVEC COMITE DE LECTURE ET ACTES

---

### - Internationaux et Invités (2)

- INV1 **Panetto H.** (2002). UML semantics representation of enterprise modelling constructs. **Invited paper.** *IFIP International Conference on Enterprise Integration and Modelling Technology (ICEIMT'02)*, 381-387, Kluwer Academics Publisher, April 24-26, 2002, Valencia, Spain, ISBN: 1-4020-7277-5
- INV2 Whitman L. E., **Panetto H.**, and Desilva D. (2006). The missing link: culture and language barriers to interoperability. **Keynote Plenary invited paper.** *9<sup>th</sup> IFAC Symposium on Automated Systems Based on Human Skill And Knowledge*, May 22-24, 2006, Nancy, France

### - Internationaux (36)

- C11 **Panetto H.**, Lhoste P., Morel G., and Mayer F. (1992). SPEX : prototypage des Machines et Systèmes Automatisés de Production. *Actes du Congrès ISA sur "l'Automatisation Industrielle"*, Vol I, pp. 5.1-5.3, ISBN : 2-9802946-0-8, Montreal, Canada, 1-3 Juin 1992
- C12 Martin P., Charpentier P., Garro O., and **Panetto H.** (1993). Design Manufacturing Systems for Furniture Pieces. *Proceedings of LIGNA'93 International Conference on woodworking technologies, Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik(IWF)*, pp 7.1-7.10, ISBN 3-8027-8613-0, Hanover, Germany, April 20-22, 1993
- C13 **Panetto H.**, and Lhoste P. (1993). Computer tools in Automation Engineering education. *Proceedings of E.A.E.E.I.E. conference*, pp. 43-47, Prague, Czech Rep., September 8-10, 1993
- C14 **Panetto H.**, Riviere J.M., and Petin J.F. (1993). Towards a unified approach for Intelligent Actuators and Sensors. *Proceedings of IEEE/SMC'93 International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, Ecole Centrale de Lille, Vol. 5, pp. 177-182, ISBN : 0-7803-0911-1, Le Touquet, France, October 17-20 , 1993
- C15 **Panetto H.**, Lhoste P., Petin J.-F., and Bon E. (1994). Contribution of the Grafcet Model to Synchrony in Discrete Events Systems Modelling. *Proceedings of IECON'94 conference*, pp. 1527-1532, Vol. 3, September 5-9, 1994, ISBN 0-7803-13291, BOLOGNE (Italy)
- C16 Petin J.F., Mery D., **Panetto H.**, and lung B. (1996). Validation of software components for Intelligent Actuation and Measurement. *Proceedings of ISRAM'96 (WAC'96), "Robotics and Manufacturing Systems"*, Vol. 3, pp. 631-637, ISBN : 1-889335-00-2, May 27-30, 1996, Montpellier, France
- C17 **Panetto H.** (1996). Stability of the Grafcet model with (Max,+) algebra. *Proceedings of CESA'96 Multiconference, IEEE-SMC, Symposium on Discrete Events and Manufacturing Systems*, July 9-12, 1996, pp. 771-776, Lille, France, ISBN 2-9502908-7-6
- C18 **Panetto H.**, Mayer F., and Feron I. (1998). From Technical objects to Technical Educational Multimedia objects. Quality Assurance within Engineering Higher Education, *2nd International Conference EQAS'98*, pp. 98-102, Zacobane, Poland, 13-16 September 1998, ISBN 83-86957-28X
- C19 **Panetto H.**, and Morel G. (1999). Network-based multimedia technology for training and education of Maintenance skills. *The 2<sup>nd</sup> AMETMAS-NOE Workshop*, St. Petersburg, Russia, 27-29 May, 1999, pp. 33-38, ISBN : 960-530-042-7
- C110 **Panetto H.**, Mayer F., and Lhoste P. (2000). Unified Modelling Language for meta-modelling: towards constructs definitions. *Proceedings of ASI'2000 Advanced Summer Institute Conference*, September 18-20, 2000, pp. 171-176, Bordeaux, France, ISBN 960-530-050-8

- CI11 **Panetto H.** (2000). Validation of distributed control system behaviours with  $(\min, \gamma, \delta)$  dioid. *Proceedings of 15<sup>th</sup> IAR annual meeting*, pp. 63-67, November 16-17, 2000, Nancy, France
- CI12 lung B., Leger J.B., and **Panetto H.** (2001). From remote maintenance to co-operative expertise-based e-maintenance. *Proceedings of 6<sup>th</sup> IFAC IMS workshop*, pp. 81-87, April 24-26, 2001, Poznan, Poland.
- CI13 **Panetto H.**, and Bernt F. (2001). Distance Learning over Internet : From working situation to competencies acquisition. *Proceedings of the 12<sup>th</sup> EAEEIE conference "European Association for education in Electrical and Information Engineering"*, May 15-17, 2001, Nancy, France
- CI14 Daoudi C., Michaut F., and **Panetto H.** (2001). A dioid algebra model of congestion control of ABR traffic on ATM networks. *Proceedings of the 16th IAR Annual Meeting*, November 22-23, 2001 - Illkirch, France
- CI15 Goranson T., Huhns M., Nell J., and **Panetto H.**, Tormo Carbó G., Wunram M. (2002). A Merged Future for Knowledge Management and Enterprise Modelling. *Proceedings of the IFIP International Conference on Enterprise Integration and Modelling Technology (ICEIMT'02)*, pp 37-50, Kluwer Academics Publisher, Valencia, Spain, April 24-26, 2002, ISBN 1-4020-7277-5
- CI16 Goranson T., Jochem R., Nell J., **Panetto H.**, Partridge C., Semepere Ripoll F., Shorter D., Webb P., and Zelm M. (2002). New Support Technologies for Enterprise Integration. *Proceedings of the IFIP International Conference on Enterprise Integration and Modelling Technology (ICEIMT'02)*, pp. 347-358, Kluwer Academics Publisher, Valencia, Spain, April 24-26, 2002, ISBN 1-4020-7277-5
- CI17 **Panetto H.**, Pétin J.F., and Méry D. (2002). Formalisation of enterprise modelling standards using UML and the B method. *Proceedings of the 8th International Conference on Concurrent Enterprising, ICE2002*, June 17-19, 2002, Rome, Italy, pp. 93-101, ISBN : 0 85358 113 4
- CI18 Yu R., lung B., Ye L., and **Panetto H.** (2002). A committee negotiation protocol for mas-based e-service for industrial process problem solving. *Proceedings of the 1<sup>st</sup> CENNET Workshop on Digital Manufacturing and Business*, pp 6-14, April 14-15, 2002, Beijing, China.
- CI19 Yu R., lung B., **Panetto H.**, Ye L., and Morel G. (2002). A MAS and CBR Based E-Maintenance for Prognosis in Industrial Process. *Proceedings of MIM 2002: 5th International Conference on Managing Innovations in Manufacturing (MIM)*, Milwaukee, Wisconsin, USA, September 9-11, 2002
- CI20 Terzi S., Cavalieri S., Garetti M., Macchi M. and **Panetto H.** (2003). Development of a Reference Architecture for Benchmarking Service of Manufacturing Systems, *Proceedings of the 7th IFAC Workshop on Intelligent Manufacturing Systems*, Budapest, Hungary, 6-8 April, pp. 213-219, ISBN: 0-08-044289-7
- CI21 **Panetto H.**, and Pétin J.F. (2003). Setting up UML stereotypes for Production systems modelling. *Proceedings of the ISPE-CE2003 conference on Concurrent Engineering : Research and Applications*, Madeira, Portugal, 26-30 July 2003, Vol. 1 "Enhanced Interoperable Systems", 747-754, ISBN 90-5809-623-8
- CI22 **Panetto H.**, Batchkova I., and Gocheva D. (2003). Product Life Cycle Management – The Key for the Success Manufacturing. *Proceedings of the International Conference on Automatics and Informatics*, pp. 69-74, Vol. 1, October 6-8, 2003, Sofia, Bulgaria, ISBN 954-9641-41-1
- CI23 **Panetto H.**, Berio G., Benali K., Boudjlida N., and Petit M. (2004). A Unified Enterprise Modelling Language for enhanced interoperability of Enterprise Models. *Proceedings of the 11th IFAC INCOM2004 Symposium*, April 5th-7th, Bahia, Brazil, Elsevier
- CI24 Terzi S., **Panetto H.**, and Morel G. (2004). Interoperability Standards along the Product Lifecycle: a Survey, *Proceeding at International IMS Forum 2004*, Edts. Marco Taisch, Erastos Filos, Paolo Garello, Kevin Lewis, Marco Montorio, May 17-19, 2004, pp 925-934, vol II, ISBN 88-901168-9-7

- CI25 Molina A., Chen D., **Panetto H.**, Vernadat F. and Whitman L. (2004). Enterprise Integration and Networking: Issues, trends and vision. *Proceedings of the IFIP International Conference on Enterprise Integration and Modelling Technology (ICEIMT'04)*, Knowledge Sharing in the Integrated Enterprise Interoperability - Strategies for the Enterprise Architect, vol. **183**, 303-313, Springer Boston, October 9<sup>th</sup>-11<sup>th</sup>, Toronto, Canada, ISBN: 0-387-26608-9
- CI26 **Panetto H.**, Scannapieco M., and Zelm M. (2004). INTEROP NoE: Interoperability Research for Networked Enterprises Applications and Software. Proceedings of the On the Move to Meaningful Internet Systems 2004 International Workshops. Agia Napa, Cyprus, October 25-29. *Lecture Notes in Computer Science*, Springer-Verlag Heidelberg, Vol. **3292**, 866-883, ISSN: 3-540-23664-3
- CI27 Terzi S., Cassina J., and **Panetto H.** (2005). Development of a metamodel to foster interoperability along the product lifecycle traceability. Proceedings of the IFIP/ACM SIGAPP INTEROP-ESA conference, Interoperability of Enterprise Software and Applications, February 23-25, Geneva, Switzerland, Springer, 1-11, ISBN: 1-84628-151-2
- CI28 Cassina J., **Panetto H.**, Taisch M., Terzi S. (2005). Avatar and product lifecycle traceability, *IMS First Products, Agents, and Avatars Working Conference*, Groningen, May 10-12, 2005, The Netherlands
- CI29 Cassina J., Terzi S., **Panetto H.**, Taisch M. (2005). Development of an holonic metamodel for lifecycle support and product extension, *11th International Conference on Concurrent Enterprising (ICE05)*, University BW Munich, Germany, 20-22 June 2005, ISBN 0-85358-128-2
- CI30 Baïna S., **Panetto H.**, and Morel G. (2005), Holon-oriented B2M process modelling approach for applications interoperability in manufacturing systems environment, Proceedings of the IFAC World Congress, July 4-7, Prague, Czech Republic, ISBN: 0-08-045108-X
- CI31 **Panetto H.**, Whitman L., and Chatha K. (2005). Ontology for Enterprise Interoperability in the domain of Enterprise Business Modelling. IFAC TC 5.3 International workshop on Enterprise Interoperability, Integration and Networking (EI2N'2005), Proceedings of the Workshops of the IFIP/ACM SIGAPP INTEROP-ESA conference, February 22<sup>nd</sup>, Geneva, Switzerland, pp. 103-114, Hermès Science publishing, ISBN 1-903209-49-5
- CI32 Wohed P., Andersson B., and **Panetto H.** (2005). Facilitating Interoperability: a cross-analysis of the language UEML and the standard ISO/DIS 19440", Proceedings of the International Workshop on Enterprise and Networked Enterprises Interoperability (ENEI'2005), in conjunction with the 3rd International Conference on Business Process Modelling (BPM 2005), 257 – 268, LNCS 3812, Springer, Nancy, France, September 5' 2005
- CI33 Baïna S., **Panetto H.**, and Benali K. (2006). A product oriented modelling concept: Holons for systems synchronisation and interoperability. *Proceedings of the 8th International Conference on Enterprise Information Systems (ICEIS'2006)*. May 23-27, 2006 Paphos, Cyprus
- CI34 Baïna S., **Panetto H.**, Morel G. (2006). Towards a Product Oriented Process Modelling for Enterprise Applications Synchronisation and Interoperability. *Proceedings of the 2<sup>nd</sup> IFAC/IFIP International conference on Interoperability for Enterprise Applications and Software (I-ESA'2006)*, March 22-24, 2006, Bordeaux, France, Springer Verlag
- CI35 Whitman L. E., Santanu D., and **Panetto H.** (2006). An Enterprise Model of Interoperability. *Proceedings of the 12<sup>th</sup> IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing (INCOM'2006)*, May, 17-19, 2006, Saint Etienne, France, Elsevier
- CI36 Dassisti M., **Panetto H.**, Tursi A. (2006). Product-driven Enterprise Interoperability for Manufacturing Systems Integration. *Proceedings of the BPM2006 Business Process Management Workshops. 2<sup>nd</sup> ENEI Workshop, Vienna, Austria, September 4, 2006*. Springer Verlag, Lecture Notes in Computer Science, September, LNCS **4103**, 249-260, ISBN 3-540-32595-6

- Nationaux et **Invités** (1)

- INV3 Berio G., **Panetto H.**, Petit M. (2004). UEML : résultats et enjeux d'un Langage Unifié de Modélisation d'Entreprise. **Conférence invitée**. Actes de la conférence francophone de modélisation et simulation MOSIM'2004, Vol. 1, 17-29, 1-3 septembre 2004, Nantes, France ISBN : 2-7430-0731-1

- Nationaux (3)

- CN1 **Panetto H.**, Corbier F., Lhoste P. (1991). Structuration et Réutilisation en Conception des Machines et Systèmes Automatisés de Production Manufacturière. *Actes du congrès Automation 1991* - CNIT la Défense - Paris - pp 127-141, 14-16 Mai 1991
- CN2 **Panetto H.**, Roesch M., Allanche P., Gueguen T. (1993). COMEDI : Une méthodologie de spécification des Systèmes Automatisés de Production. *Actes du colloque A2RP*, Ministère de la Recherche et de l'Espace, pp. 506-515, Paris, France, 20-21 Janvier 1993
- CN3 Terzi S., Cassina J., Chiari G., **Panetto H.** (2004). Traçabilité des Produits : une approche Holonique. *Actes de la conférence francophone de modélisation et simulation MOSIM2004*, Vol. 2, 661-666, 1-3 septembre 2004, Nantes, France, ISBN : 2-7430-0731-1

## 5. MANIFESTATIONS AVEC OU SANS COMITE DE LECTURE ET A DIFFUSION RESTREINTE

---

- Internationales et **Invitées** (4)

- INV4 **Panetto H.** (2001). UML semantics representation of enterprise modelling constructs. *Invited paper at the Workshop on Knowledge Management in Inter- and Intra-organizational Environments*, EADS – Paris, December 5<sup>th</sup>-7<sup>th</sup>, 2001
- INV5 **Panetto H.**, Berio G., Petit M., Knothe T. (2003). Enterprise integration semantics issue. **Invited presentation** to the *International NIST/NSF Workshop on Semantics Distance*, NIST, November 10-12, 2003, Gaithersburg, Maryland, USA
- INV6 **Panetto H.** (2002). UEML constructs representation. Invited paper at the *workshop on Common Representation of Enterprise Models*. IPK, Berlin, February, 20-22, 2002
- INV7 **Panetto H.**, Zelm M., (2004), Research issues on the Interoperability for Networked Enterprises Applications and Software, Invited presentation, DIIMS'2004, *The 7th International Conference on Design of Information Infrastructure Systems for Manufacturing*, October 11<sup>th</sup>, 2004, Toronto, Canada

- Internationales (3)

- CIS1 **Panetto H.** (2003). ISO STEP 10303-xx, Workshop Even, October 10<sup>th</sup>, Nancy
- CIS2 Baina S., **Panetto H.**, Morel G., Benali K (2005). Adapting HPM to B2M interoperability issues: Towards Interoperability between Business Management Level and Shop Floor Level. Doctoral Symposium, IFIP/ACM INTEROP-ESA conference, February 21, Geneva, Switzerland
- CIS3 **Panetto H.** (2005). Interoperability Research for Networked Enterprises Applications and Software, ISO TC184/SC4 plenary meetings, June 12-17, 2005, Valencia, Spain

- Nationales (3)

- CNS1 Lhoste P., **Panetto H.**, Morel G., Roesch M. (1991). Une méthode de Spécification et de Conception de la Partie Commande des Machines et Systèmes Automatisés de Production Manufacturière. *Actes des journées de synthèse "Génie Automatique et Production Industrielle"*. GAMI - CCGA - INNOTECH - ISMCM Paris - 12, 13 Mars 1991
- CNS2 **Panetto H.** (1992). Actionnement et Mesure I... *Actes des rencontres I.A.E. Nancy, Firtech/Pôle I.A.E., Nancy, 18 Juin 1992*
- CNS3 **Panetto H.** (1993). Présentation des outils de Génie Automatique. *Journée de Partenariat Université - Entreprises, St Dié des Vosges, 29 Janvier 1993*

- Communications à des groupes de travail nationaux (6)

- CGT1 **Panetto H.** (1996). Stabilité du modèle Grafcet. *Communication au Groupe de Travail "Grafcet", AFCET, Paris, 21 Mars 1996*
- CGT2 **Panetto H.** (1999-2001) 3 communications orales dans le domaine de la meta-modélisation et la définition de « constructs » pour le développement d'un langage unifié de modélisation d'entreprise, dans le cadre du Groupement de Recherche en Production, GT « Modélisation d'entreprise ».
- CGT3 Boudjlida N., **Panetto H.**, Benali K., Petin J.F. (2002). Vers un modèle unifié pour la modélisation en entreprise, *Assises Nationales du GDR I3 (Information, Intéraction, Intelligence)*, Nancy, 6 décembre 2002.
- CGT4 Doumeingts G., **Panetto H.**, Benali K. (2003). Résultats et perspectives du réseau thématique UEML : vers un modèle unifié pour la modélisation en entreprise, *journées nationale du GDR MACS Pole STP GT ECI*, Bordeaux, Octobre 2003

- Mémoires

- PAN1 Panetto H. (1991). *Une contribution au Génie Automatique : le prototypage des Machines et Systèmes Automatisés de Production*, Thèse de doctorat de l'Université Henri Poincaré Nancy I
- PAN2 Panetto H. (1987). *FAO d'équipements de production automatisée (partie commande) : approche Grafcet et approche Objet*, mémoire de DEA Production Automatisée, Université Henri Poincaré Nancy I



## VII Formation par la recherche

---

### 1. CODIRECTION DE THESES

---

Autorisé à codiriger ces thèses par le conseil scientifique de l'UHP, elles sont co-encadrées à 50% avec le Pr. G. Morel.

- TH1 Terzi Sergio, *Contribution à la spécification formelle d'un Langage Unifié de modélisation de Processus de Production : application à la traçabilité des produits*  
Thèse en co-tutelle UHP Nancy I - Politecnico di Milano (Italie) débutée en 2002  
Directeur de Thèse Français : Prof. Gérard Morel (50%)  
Directeur de Thèse Italien : Prof Marco Garetti  
Co-Directeur de Thèse : **H. Panetto** (50%)  
Soutenue le 27 Mai 2005  
Jury franco/italien : Campagne J.P. (INSA Lyon, CNU 61) (Président, Rapporteur), Tronchia S. (Univ. Di Udine, Italie) (Rapporteur), Cassia L. (Univ. Di Bergamo, Italie)(Examinateur), Morel G. (UHP Nancy I, CNU 61), Garetti M. (Politecnico di Milano, Italie)(Directeurs de thèse), **Panetto H.** (UHP Nancy I, CNU 61)(Co-Directeur de thèse), Cavalieri S. (Univ. Di Bergamo, Italie)(Invité)  
Co-publications : 6 communications [CI20][CI24][CI27][CI28][CI29][CN3] et 3 livrables de contrat européen [RPE9][RPE11][RPE12]  
Financement : Bourse Politecnico di Milano, Région Lorraine, Projet Smart-fm [PE5]  
Situation actuelle : Chercheur titulaire à l'Université de Bergame, Italie
- TH2 Baina Salah, *Interopérabilité dirigée par les modèles : approche Orientée Produit pour la l'interopérabilité des systèmes d'entreprise.*  
Thèse de l'Université Henri Poincaré Nancy I débutée en 2003  
Directeurs de Thèse : Prof. Gérard Morel (50 %)  
Co-Directeur de Thèse : **H. Panetto** (50%)  
Soutenance le 7 Décembre 2006  
Jury : Vallespir B. (Univ. Bordeaux1, CNU 61), Oquendo F. (Univ. Bretagne Sud, CNU 27) (Rapporteurs), Bourey J.P. (EC Lille, CNU 61), Benali K. (Univ. Nancy 2, CNU 27) (Examineurs), Morel G. (UHP Nancy I, CNU 61) (Directeur de thèse), **Panetto H.** (UHP Nancy I, CNU 61)(Co-Directeur de thèse)  
Co-publications : 2 revues [RN4][RI7], 4 communications [CI30][CIS2][CI33][CI34] et 2 livrables de contrat européen [RPE24][RPE25]  
Financement : INTEROP NoE [PE7]  
Situation actuelle : ATER à l'Université Henri Poincaré Nancy I
- TH3 Angela Tursi, *Approche basée sur les ontologies pour l'interopérabilité centrée sur le produit des systèmes d'entreprises/Ontology-based approach for Enterprises systems interoperability*  
Thèse en co-tutelle UHP Nancy I - Politecnico di Bari (Italie) débutée en 2006  
Directeur de Thèse Français : Prof. Gérard Morel (50%)  
Directeur de Thèse Italien : Ass. Prof. HDR Michele Dassisti  
Co-Directeur de Thèse : **H. Panetto** (50%)  
Soutenance prévue en 2008  
Financement : Bourse Politecnico di Bari, INTEROP NoE [PE7]  
Co-publications : 1 communication [CI36]



## 2. CODIRECTION DE POST-DOCTORANT

---

- POD1 Wohed Petia, *Analysis of process modelling languages for enterprise interoperability*  
Diplôme d'Université de Recherche Post-doctorale, Université Henri Poincaré Nancy I  
Directeur de Recherche : Prof. Gérard Morel  
Co-Directeur de Recherche : **H. Panetto** (100%)  
Jury : Divoux T. (Président), Boudjlida N. (Examinateur), Morel G. (Directeur de Recherche),  
**Panetto H.** (Co-Directeur de Recherche).  
Soutenue le 19 juillet 2005, mention TH  
Financement : Post-Doc CNRS, INTEROP NoE [PE7]  
Co-publications : 1 communication [CI32] et 2 livrables de contrat européen [RPE21][RPE24]  
Situation actuelle : Chercheur titulaire au Royal Institute of Stockholm, Suède

## 3. INVITATION À DES JURY DE THÈSE

---

- JUR1 Zaidat Ali, *Spécification d'un cadre d'ingénierie pour les réseaux d'organisations*  
Thèse de doctorat de l'Université Jean Monnet et de l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, spécialité Génie Industriel  
Jury : Pingaud H., Vernadat F. (Rapporteurs), **Panetto H.** (Examinateur), Boissier O. (Président), Campagne J.P. (Directeur de Thèse), Vincent L. (Co-directeur de Thèse)  
Soutenue le 7 septembre 2005 à l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne

## 4. CODIRECTION DE STAGIAIRES DE DEA ET DE MASTER RECHERCHE

---

- MR1 Ukropec Slavomir  
*Modélisation de filtres de comportements pour la conception de Systèmes Automatisés de Production*, Rapport de recherche de DEA "Sciences du Bois", Université de Nancy I, 1992  
Directeur de Recherche : Martin P. (50%)  
Responsable de la Recherche : **Panetto H.** (50%)
- MR2 Kislin Laurent  
*Techniques Objets appliquées à l'intégration en Génie Automatique* - Rapport de recherche de DEA Production Automatisée, Université de Nancy I  
*Du relationnel ... à l'objet Technique* - Rapport bibliographique de DEA Production Automatisée, Université de Nancy I, 1993  
Directeur de Recherche Associé : Lhoste P. (50%)  
Responsable de la Recherche : **Panetto H.** (50%)
- MR3 Cann Laurent  
*Une Contribution au Génie Automatique : approches pour la modélisation et la simulation des Systèmes Discrets-Continus* - Rapport de recherche de DEA Production Automatisée, Université de Nancy I  
*Méthodes, Langages et Outils pour la formalisation et la qualification de comportements d'automatismes* - Rapport bibliographique de DEA Production Automatisée, Université de Nancy I, 1994  
Directeur de Recherche : Morel G. (50%)  
Responsable de la Recherche : **Panetto H.** (50%)
- MR4 Bure François  
*Contribution à une approche systémique à partir de la méthode SADT : prototypage en Smalltalk d'un outil d'aide à l'analyse* - Rapport de recherche de DEA Production Automatisée, Université de Nancy I  
*Méthodes et outils d'analyse et de spécification* - Rapport bibliographique de DEA Production Automatisée, Université de Nancy I, 1994  
Directeur de Recherche : Morel G. (50%)  
Responsable de la Recherche : **H. Panetto** (50%)

- MR5 Roesch Jean-Pierre  
*Contribution à la définition d'une passerelle SPEX-XTEL* - Rapport de recherche de DEA Production Automatisée, Université de Nancy I  
*Architectures Logiques et Physiques des Parties Commande de Systèmes Automatisés de Production* - Rapport bibliographique de DEA Production Automatisée, Université de Nancy I, 1994  
Directeurs de Recherche Associés : Lhoste P. (25%), Roesch M. (25%)  
Responsable de la Recherche : **Panetto H.** (50%)
- MR6 Chaumette Laurent  
*Contribution à la Modélisation du Système d'Information Technique d'une cellule flexible d'usinage bois massif* - Rapport de recherche de DEA Science du Bois, Université de Nancy I  
*Capabilité Machine Statistique* - Rapport bibliographique de DEA Science du Bois, Université de Nancy I, 1995  
Directeur de Recherche : Martin P. (50%)  
Responsable de la Recherche : **Panetto H.** (50%)
- MR7 Daoudi Camal  
*Modélisation du contrôle de congestion des ressources du trafic ABR dans le réseau ATM par l'algèbre des dioïdes* – Rapport de recherche de DEA CSC Filière TRS, Université Henri Poincaré, Nancy 1, juillet 2001  
Directeur de Recherche : Divoux T.  
Responsable de la Recherche : **Panetto H.** (100%)  
Co-publications : 1 communication [CI14]
- MR8 Cassina Jacopo  
*Langage Unifié de Modélisation de Processus de Production : extension de la norme ISO/IEC 62264 à la traçabilité des produits*  
Rapport de DEA en Génie Mécanique du Politecnico di Milano/DEA en Production Automatisée, Université Henri Poincaré, Nancy 1, Juillet 2004  
Directeur de Recherche : Prof. Marco Garetti (Politecnico di Milano, Italie)  
Responsable de la Recherche : **Panetto H.** (100%)  
Financement : ERASMUS/SOCRATES, Projet FSAP-DIS [PE4]  
Co-publications : 4 communications [CI27][CI28][CI29][CN3]
- MR9 Chiari Gianluca  
*Langage Unifié de Modélisation de Processus de Production : extension de la norme ISO 10303-239 PLCS à la traçabilité des produits*  
DEA en Génie Mécanique du Politecnico di Milano/DEA en Production Automatisée, Université Henri Poincaré, Nancy 1, juillet 2004  
Directeur de Recherche : Prof. Marco Garetti (Politecnico di Milano, Italie)  
Responsable de la Recherche : **Panetto H.** (100%)  
Financement : ERASMUS/SOCRATES, Projet FSAP-DIS [PE4]  
Co-publications : 1 communication [CN3]

## 5. ACCUEIL D'ETUDIANTS ETRANGERS

---

- Terzi Sergio, Politecnico di Milano (Italie), dans le cadre de sa thèse en cotutelle avec l'Université Henri Poincaré Nancy I, Bourse du Politecnico di Milano, financement de la Région Lorraine et sur le projet européen Smart-fm, 12 mois entre Juin 2002 et Mai 2005
- Cassina Jacopo, Politecnico di Milano (Italie) dans le cadre de son stage recherche du DEA Production Automatisée de l'Université de Nancy I. Financement ERASMUS et financement sur le projet européen Smart-fm, 6 mois d'octobre 2003 à mars 2004.

- Chiari Gianluca, Politecnico di Milano (Italie) dans le cadre de son stage recherche du DEA Production Automatisée de l'Université de Nancy I. Financement ERASMUS et financement sur le projet européen Smart-fm, 6 mois d'octobre 2003 à mars 2004.
- Angela Tursi, Politecnico di Bari (Italie), dans le cadre de sa thèse en cotutelle avec l'Université Henri Poincaré Nancy I, Bourse du Politecnico di Bari, financement sur le projet européen INTEROP NoE, 10 mois de juillet 2006 à Avril 2007.

## VIII Rayonnement scientifique

---

### 1. ANIMATION SCIENTIFIQUE ET PARTICIPATION A L'ADMINISTRATION DE LA RECHERCHE

---

#### - Niveau Local

- Membre élu suppléant d'une commission de spécialiste 61° section de l'Université Henri Poincaré Nancy I section depuis 2004
- Membre nommé titulaire à la commission de spécialiste mixte 31°, 60°, 61°, 62° et 63° sections de l'Université Nancy II depuis 2001
- Membre nommé suppléant à la commission de spécialiste 61° et 63° sections de l'Université Metz de 2001 à 2004

#### - Niveau National

- Participation au Groupe de Travail « Modélisation en Entreprise » du Groupement pour la Recherche en Productique
- Participation au GDR MACS Pole STP GT « Entreprise Communicante et Interopérabilité » (ECI) (commun avec le GDR I3) depuis sa création en 2003.
- Membre du comité de pilotage de la 3<sup>ème</sup> Ecole de modélisation d'entreprise du GDR MACS/GDR I3 GT ECI, Arcachon, 2-4 octobre 2006
- Membre de l'AFIS (Association Française d'Ingénierie Système). Participation au GT MO (Méthodes et Outils).
- Expert nommé à l'AFNOR, Comité de normalisation « Données Scientifiques, Techniques et Industrielles » depuis 1998. Dans le cadre de ce comité, je participe aux travaux de standardisation STEP (ISO 10303) et en particulier, je suis co-auteur du protocole d'application 236 « Furniture catalog and interior design » relatif à l'interopérabilité des modèles de produits entre applications d'entreprises, résultat de plusieurs projets européens dans lesquels j'ai participé.
- Expert nommé à l'AFNOR, Comité de normalisation « Communication et architecture des systèmes industriels » depuis 2000. Dans le cadre de ce comité, je participe aux travaux de normalisation sur l'intégration du contrôle-commande au système de l'entreprise (IEC 62264) ainsi qu'aux travaux relatifs à la standardisation d'un cadre de modélisation d'entreprise (ISO 19439) et la définition d'éléments de constructions pour la modélisation d'entreprise (ISO/DIS 19440).

#### - Niveau Européen et International

- Vice-Président du TC 5.3 « Enterprise Integration and Networking » de l'IFAC (International Federation for Automatic Control) depuis 2003. <http://www.ifac-tc53.org>
- Membre actif, représentant français, de l'ISO TC184/SC4 « Industrial Automation systems and Integration/ Industrial Data »
- Membre actif, représentant français, de l'ISO TC184/SC5 « Industrial Automation systems and Integration/ Architecture, communications and integration frameworks »
- Membre d'INCOSE (International Council on Systems Engineering)

## 2. ORGANISATION ET INVITATIONS DANS DES MANIFESTATIONS AVEC COMITE DE LECTURE ET ACTES

---

- Participation à des comités de programmes (28)
  - **ADPM'94**, 2<sup>ème</sup> Conférence sur l'automatisation des processus mixtes, Bruxelles, Belgique, November 23-24, 1994.
  - **IFIP DIISM'2002**, "Enhancing Engineering and Manufacturing Knowledge and Skill Chains in the era of Global Communications". 5<sup>th</sup> International Conference on "Design of Information Infrastructure Systems for Manufacturing" November 18-20, 2002, Osaka, Japan. <http://www6.mapse.eng.osaka-u.ac.jp/DIISM2002>
  - **CE'2003**, 10<sup>th</sup> ISPE International Conference on Concurrent Engineering: Research And Applications, July 26-30, 2003, Madeira Island, Portugal. <http://isg.uninova.pt/ce2003>
  - **CE'2004**, 11<sup>th</sup> ISPE International Conference on Concurrent Engineering: Research And Applications, July 26-30, 2004, Beijing, P. R. China. <http://www.njtu.edu.cn/depart/xyjxdq/data/ce2004/~ce2004.html>
  - **IFIP DIISM'2004**, 7<sup>th</sup> International Conference on Design of Information Infrastructure Systems for Manufacturing, October 9-11 2004, Toronto, Canada. <http://www.eil.utoronto.ca/DIISM04>
  - **IFIP ICEIMT'2004**, International Conference on Enterprise Integration and Modelling Technology. October 9-11 2004, Toronto, Canada. <http://www.eil.utoronto.ca/ICEIMT04>
  - **IFAC MIM'2004**, IFAC Conference on Manufacturing, Modelling, Management and Control, October 21-22, 2004, Athens, Greece. <http://www.lms.mech.upatras.gr/IFAC-MIM04>
  - **INTEROP'2004**, 1<sup>st</sup> International Workshop on Interoperability Research for Networked Enterprises Applications and Software Network of Excellence, October 27, 2004, Agia Napa, Cyprus. <http://www.dis.uniroma1.it/~monscan/interop.html>
  - **MIOS'2004**, 1<sup>st</sup> International Workshop on Modelling Inter-Organizational Systems. October 28, 2004, Agia Napa, Cyprus. <http://wi-se.wiwi.uni-augsburg.de/MIOS04.php>
  - **IFIP/ACM INTEROP-ESA'2005**, 1<sup>st</sup> International conference on Interoperability of Enterprise Software and Applications, February 23-25 2005, Geneva, Switzerland. <http://interop-esa05.unige.ch>
  - **EI2N'2005**, 1<sup>st</sup> International workshop on Enterprise Integration, Interoperability and Networking, March 22 2005, Geneva, Switzerland. <http://www.ifacint05.cigip.org>
  - **EMMSAD'2005**, 10<sup>th</sup> International Workshop on Exploring Modelling Methods in Systems Analysis and Design, June 13-14 2005, Porto, Portugal. [http://www.orm.net/EMMSAD2005\\_CFP.htm](http://www.orm.net/EMMSAD2005_CFP.htm)
  - **ENEI'2005**, 1<sup>st</sup> International workshop on Enterprise and Networked Enterprises Interoperability, September 5, 2005, Nancy, France. <http://www.loria.fr/~nacer/BPM-ENEI05/ENEI-CfP.html>
  - **MITIP'2005**, 7<sup>th</sup> International Conference on Modern Information Technology in the Innovation Processes of the industrial enterprises, September 8-9 2005, Genoa, Italy. <http://www.dipem.unige.it/mitip2005>
  - **MIOS-INTEROP'2005**, 2<sup>nd</sup> International workshop on Modelling Inter-Organizational Systems and Interoperability of Enterprise Software and Applications, October 31-November 1, 2005, Agia Napa, Cyprus. <http://www.cs.rmit.edu.au/fedconf/mios-interop2005cfp.html>
  - **IFAC FET'2005**, 6<sup>th</sup> IFAC Conference on Fieldbus and their Applications, November 14-15, 2005, Puebla, Mexico. <http://salaam.cs.buap.mx/FeT2005>
  - **EI2N'2006**, 2<sup>nd</sup> International workshop on Enterprise Integration, Interoperability and Networking, March 21 2005, Bordeaux, France. <http://www.ei2n06.di.unito.it>
  - **IFAC/IFIP I-ESA'2006**, 2<sup>nd</sup> International conference on Interoperability for Enterprise Software and Applications, March 22-24, 2006, Bordeaux, France. <http://www.i-esa.org>
  - **IFAC INCOM'2006**, 12<sup>th</sup> IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing, May, 17-19, 2006, Saint Etienne, France. <http://www.emse.fr/incom06>
  - **IFAC ASBH'2006**, 9<sup>th</sup> IFAC Symposium on Automated Systems Based on Human Skill And Knowledge, May 22-24, 2006, Nancy, France. <http://www.ensgsi.inpl-nancy.fr/ASBoHS06>
  - **EMMSAD'2006**, 11<sup>th</sup> International Workshop on Exploring Modelling Methods in Systems Analysis and Design, June 5-6, 2006, Luxembourg. <http://emmsad06.idi.ntnu.no>

- **ENEI'2006**, 2<sup>nd</sup> International workshop on Enterprise and Networked Enterprises Interoperability, September 4, 2006, Vienna, Austria. <http://www.loria.fr/~nacer/ENEI06.htm>
- **IFAC/IFIP/ACM I-ESA'2007**, 3<sup>rd</sup> International conference on Interoperability for Enterprise Software and Applications, March 26-30, 2007, Funchal, Portugal. <http://www.i-esa.org/i-esa2007>
- **IFAC IMS'2007**, IFAC Workshop on Intelligent Manufacturing Systems, May 23-25, 2007, Campus of San Vicente del Raspeig, Alicante, Spain. <http://www.aurova.ua.es/ims2007>
- **CAISE'2007**, 19<sup>th</sup> International Conference on Advanced Information Systems Engineering (CAISE'07), June 11-15, 2007, Trondheim, Norway. <http://caise07.idi.ntnu.no>
- **EMMSAD'2007**, 11<sup>th</sup> International Workshop on Exploring Modelling Methods in Systems Analysis and Design, June 11-12, 2007, Trondheim, Norway. <http://www.emmsad.org>
- **CEA'2007**, IFAC Cost Effective Automation in Networked Product Development and Manufacturing, October 2-7, 2007, Monterrey, Mexico. <http://cidyt.mty.itesm.mx/ifac-CEA07>
- **PLM'2007**, 4<sup>th</sup> International Conference on Product Lifecycle Management, Milan, Italy, July 11-13, 2007. <http://www.plm-conference.org>

- Organisation ou Co-organisation de workshops internationaux (6)

- WS1 **Panetto H.**, Scanapiecco M., **INTEROP'2004**, 1<sup>st</sup> International Workshop on Interoperability Research for Networked Enterprises Applications and Software Network of Excellence, October 27, 2004, Agia Napa, Cyprus. <http://www.dis.uniroma1.it/~monscan/interop.html>
- WS2 Ortiz A., **Panetto H.**, Molina A., **EI2N'2005**, 1<sup>st</sup> International workshop on Enterprise Integration, Interoperability and Networking, March 22, 2005, Geneva, Switzerland. <http://www.ifacint05.cigip.org>
- WS3 Boudjlida N., **Panetto H.**, **ENEI'2005**, 1<sup>st</sup> International workshop on Enterprise and Networked Enterprises Interoperability, September 5, 2005, Nancy, France. <http://www.loria.fr/~nacer/BPM-ENEI05/ENEI-CfP.html>
- WS4 Albani A., **Panetto H.**, Dietz J., Scanapiecco M., **MIOS-INTEROP'2005**, 2<sup>nd</sup> International workshop on Modelling Inter-Organizational Systems and Interoperability of Enterprise Software and Applications, October 31-November 1, 2005, Agia Napa, Cyprus. <http://www.cs.rmit.edu.au/fedconf/mios-interop2005cfp.html>
- WS5 Berio G., **Panetto H.**, Molina A. **EI2N'2006**, 2<sup>nd</sup> International workshop on Enterprise Integration, Interoperability and Networking, March 21, 2006, Bordeaux, France. <http://www.ei2n06.di.unito.it>
- WS6 Boudjlida N., **Panetto H.**, **ENEI'2006**, 2<sup>nd</sup> International workshop on Enterprise and Networked Enterprises Interoperability, September 4, 2006, Vienna. <http://www.loria.fr/~nacer/BPM-ENEI06/ENEI-CfP.html>

- Participation au comité d'organisation de conférences (5)

- **ISA AIAI'1995**, 2<sup>nd</sup> International Conference on Industrial Automation, June 7-9, 1995, Nancy, France.
- **IFAC INCOM'1998**, 9<sup>th</sup> IFAC Symposium on Information Control in Manufacturing, June 24-26, 1998, Nancy, France.
- **CIRP GA'2001**, 53<sup>rd</sup> CIRP General Assembly, August 19-26, 2001, Nancy, France
- **IFIP/ACM INTEROP-ESA'2005**, 1<sup>st</sup> International conference on Interoperability of Enterprise Software and Applications, February 23-25 2005, Geneva, Switzerland. <http://interop-esa05.unige.ch>  
**Panetto H.**, Charoy F., Chairs of the Workshops, Tutorials and Invited Sessions
- **IFAC/IFIP I-ESA'2006**, 2<sup>nd</sup> International conference on Interoperability for Enterprise Software and Applications, March, 22-24, 2006, Bordeaux, France. <http://www.i-esa.org>  
**Panetto H.**, Boudjlida N., Chairs of the Workshops, Tutorials and Invited Sessions

- Organisations de tracks et sessions invités (6)

- SES1 **Coorganisateur** avec J.F. Pétin d'une session invitée au symposium **IFAC INCOM'2001** (September 20-22, 2001, Vienna, Austria) : « *Impact of Formal Models and Methods on Automation* », 5 papiers.
- SES2 **Coorganisateur** avec A. Bernard et K. Kosanke d'un track de 3 sessions à la conférence **ISPE CE'2003** (July 26-30, 2003, Madeira Island, Portugal) : « *Product and Process models for Enterprise Inter and Intra Organisation Integration* », 17 papiers.
- SES3 **Organisateur** d'une session invitée au symposium **IFAC INCOM'2004** (April 5-7, 2004, Salvador de Bahia, Brazil) : « *B2M Systems Interoperability: Modelling and Benchmarking Issues* », 7 papiers.
- SES4 **Coorganisateur** avec N. Boudjlida d'une session invitée à l'**IFAC World Congress 2005** (July 4-8, 2005, Prague, Czech Republic) : « *Interoperability Research for Networked Enterprises Applications and Software* », 6 papiers.
- SES5 **Organisateur** d'une session invitée à l'**IFAC World Congress 2005** (July 4-8, 2005, Prague, Czech Republic) : « *Integration of Business and Manufacturing Control Systems - Enterprise Engineering models, tools and standards* », 1 survey et 4 papiers.
- SES6 **Coorganisateur** avec L. Whitman d'un track de 3 sessions au symposium **IFAC INCOM'2006** (May, 17-19, 2006, Saint Etienne, France) : « *Networked Enterprises Control Systems Integration and Interoperability* », 12 papiers.

- Conférences invitées (7)

- **Panetto H.** (2001). UML semantics representation of enterprise modelling constructs. Invited paper at the Workshop on Knowledge Management in Inter- and Intra-organizational Environments, EADS – Paris, December 5th-7th, 2001
- **Panetto H.** (2002). UEML constructs representation. Invited paper at the Workshop on Common Representation of Enterprise Models. IPK, Berlin, February, 20-22, 2002
- **Panetto H.** (2002). UML semantics representation of enterprise modelling constructs. **Invited paper.** IFIP International Conference on Enterprise Integration and Modelling Technology (**ICEIMT'2002**), 381-387, Kluwer Academics Publisher, Valencia, Spain, 24-26 April 2002, ISBN: 1-4020-7277-5
- **Panetto H.**, Berio G., Petit M., Knothe T. (2003). Enterprise integration semantics issue. Invited **presentation** to the International NIST/NSF Workshop on Semantics Distance, NIST, November 10-12, 2003, Gaithersburg, Maryland, USA
- Berio G., **Panetto H.**, Petit M. (2004). UEML : résultats et enjeux d'un Langage Unifié de Modélisation d'Entreprise. **Conférence invitée.** Actes de la conférence francophone de modélisation et simulation MOSIM'2004, Vol. 1, 17-29, 1-3 septembre 2004, Nantes, France, ISBN: 2-7430-0731-1
- **Panetto H.**, Zelm M., (2004), Research issues on the Interoperability for Networked Enterprises Applications and Software, Invited presentation, *DIIMS'2004, The 7th International Conference on Design of Information Infrastructure Systems for Manufacturing*, October 11th, 2004, Toronto, Canada
- Whitman L. E., **Panetto H.**, and Desilva D. (2006). The missing link: culture and language barriers to interoperability. **Plenary invited paper.** *9<sup>th</sup> IFAC Symposium on Automated Systems Based on Human Skill And Knowledge*, May 22-24, 2006, Nancy, France

- Présidence de sessions (autres que sessions invitées) (6)

- Président de session au congrès **ISA AIAI'95** : 2nd International Conference on Industrial Automation, June 7-9, 2005, Nancy, France
- Président de session au symposium **IFAC/INCOM'1998** : 9th IFAC Symposium on Information Control in Manufacturing, June 24-26, 1998, Nancy, France.
- Président de session à la conférence **EAEIE'2001** : 12<sup>th</sup> Annual Conference on Innovations in Education for Electrical and Information Engineering, May 15-17, 2001, Nancy, France

- Président de session au workshop **MIOS'2004** : 1<sup>st</sup> International Workshop on Modelling Inter-Organizational Systems. October 28, 2004, Agia Napa, Cyprus
- Président de session à la conférence **IFIP/ACM INTEROP-ESA'2005** : 1<sup>st</sup> International conference on Interoperability of Enterprise Software and Applications, February 23-25, 2005, Geneva, Switzerland
- Président de session à la conférence **IFAC/IFIP I-ESA'2006**, 2<sup>nd</sup> International conference on Interoperability for Enterprise Software and Applications, March 22-24, 2006, Bordeaux, France

### 3. CRITIQUES SCIENTIFIQUES

---

- Conférences (évaluation de papiers autres que pour les conférences mentionnées dans la "participation à des comités de programme") (15)
  - **ASI '2000**, Advanced Summer Institute *Conference*, September 18-20, 2000, Bordeaux, France.  
<http://www.lar.ee.upatras.gr/icims/asi/asi2000/asi2000.htm>
  - **SCI2001, SCI2002, SCI2003, SCI2004, SCI2005**, World Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informatics
  - **FeT'2001**, 4<sup>th</sup> IFAC International Conference on Fieldbus Systems and their Applications, November 15-16, 2001, Nancy, France
  - **ACS-SCM'2002**, International Multiconference on Advanced Computer Systems, 23-25 October 2002, Międzyzdroje, Poland. <http://acs.wi.ps.pl>
  - **EFTA'2003**, 9<sup>th</sup> IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, September 16-19, 2003, Lisbon, Portugal. <http://www.uninova.pt/etfa2003>
  - **QUALITA'2003**, Qualité et Sécurité de Fonctionnement, 19-21 Mars 2003, Nancy, France.  
<http://www.isi.u-nancy.fr/qualita2003>
  - **INCOM'2004**, 12<sup>th</sup> IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing, April 5-7, 2004, Salvador de Bahia, Brazil. <http://www.eletr.ufrgs.br/incom2004>
  - **MOSIM'2004**, 5<sup>ème</sup> conférence francophone de modélisation et simulation, 1-3 septembre 2004, Nantes, France. <http://www.emn.fr/x-auto/mosim04>
  - **MCPL'2004**, 3<sup>rd</sup> IFAC/IEEE/ACCA Conference on Management and Control of Production and Logistics, November 3-5, 2004, Santiago, Chile.
  - **IFAC WC'2005**, 16<sup>th</sup> IFAC World Congress, July 4-7, 2005, Prague, Czech Republic.  
<http://www.ifac.cz>
  - **CAISE'2006**, 18<sup>th</sup> Conference on Advanced Information Systems Engineering - Trusted Information Systems, June 5-9, 2006, Luxembourg. <http://www.tudor.lu/caise06>
- Revues (17)
  - **JESA, Hermès** (Journal Européen des Systèmes Automatisés) en 2001 et 2005
  - **EAAI, Elsevier** (IFAC Engineering Applications of Artificial Intelligence) en 2003
  - **IJIEM, Inderscience** (International Journal of Internet and Enterprise Management) en 2003
  - **CII, Elsevier** (Computers in Industry) en 2003, 2004, 2005 et 2006
  - **JSCI, IIS** (Journal of Systemics, Cybernetics and Informatics) en 2004
  - **CEP, Elsevier** (IFAC Control Engineering Practice) en 2004 et 2005
  - **IJAM, ISAM** (International Journal of Agile Manufacturing) en 2005
  - **IJNVO, Inderscience** (International Journal of Networking and Virtual Organisations) en 2005
  - **JIM, Springer**, (Journal of Intelligent Manufacturing) en 2005 et 2006
  - **ISI, Hermès Science Publications** (Ingénierie des Systèmes d'Information) en 2006
  - **IJCIM, Taylor & Francis** (International Journal of Computer Integrated Manufacturing) en 2006



## 4. CONSULTANCE – EXPERTISE

---

- Conférence de 2 jours dans le cadre Programme de formation européenne COMETT 1992, "Systèmes Flexibles de Fabrication appliqués à l'industrie du meuble", 18-19 Novembre 1993, COSMOB, Pesaro, Italie
- Consultance d'une semaine à Price Waterhouse Coopers au Luxembourg en 2003 dans le domaine de la spécification des besoins par une modélisation UML
- Expertise de 3 projets dans le cadre d'un appel d'offre Régional en 2003

## IX Valorisation

---

### 1. PROJETS EUROPEENS ET CONTRATS DE RECHERCHE

---

- Projets Européens et Internationaux avec comité d'évaluation et rapports ou communications (7)

PE1 **COMETT** - Morel G., Lhoste P., **Panetto H.**, lung B., "*Automation Engineering*". Formation Européenne COMETT Ca 93 n°93/1/7609 animé par le CRAN, l'AIPL et l'AUEF Lorraine. May 16-20, 1993.

Responsable : **Panetto H.**

Transfert technologique des résultats de R&D en Ingénierie d'Automatisation développés dans les différents projets Européens.

RPE1 **Panetto H.**, Rapport d'exécution du projet COMETT Ca 93 n°93/1/7609, Mai 1993

PE2 **ESPRIT EP 29711 – FUNSTEP-IG** (Furniture Standard for Exchange of Product Data Model Interest Group); 1998-2000: 18 mois

Coordinateur : AIDIMA (ES)

Partenaires : UNINOVA (PT), ODT (DE), UHP (FR), SATRA (UK), DEMOCENTER (IT), TRATEK (SE), VTT (FI), ATC (GR), UEA (BE), 20.20 (FR), FIAA (AU)

+ 50 membres représentants académiques et industriels de l'ameublement

Effort : 60 hommes\_mois

Effort CRAN : 3 hommes\_mois

**Panetto H. : Responsable du point de contact français.**

**Panetto H.**, Organisation d'une demi-journée d'information aux industriels français, 14 janvier 2000, Paris, France

**Panetto H.**, Organisation de la 3<sup>ème</sup> revue du projet FUNSTEP-IG, 14 janvier 2000, Paris, France

RPE2 Gresa I., Lauro L., **Panetto H.**, Bronsek A., *D4.3 Technical meetings report*, ESPRIT EP 29711 – FUNSTEP-IG, October 2000

PE3 **COFURN IST-2000-25183 Thematic Network** (Co-operation for consensus, standardisation and interoperability to support e-com services in the FURNiture industries sector); 2000-2002: 24 mois

Coordinateur : AIDIMA (ES)

Partenaires : UNINOVA (PT), UHP (FR), CLAC (IT), H&P (DE), TECNOHARD (ES), CTBA (FR), SPI (FR), FIRA (UK), FIAA (AU), DATAFORM (DE), SWOOD (CH), UWH (HU), OGOT (SE), UCTM (BH), UEA (BE), ODT (DE)

Effort : 120 hommes\_mois

Effort CRAN : 4 hommes\_mois

**Panetto H., Juan J. : Co-Responsables du point de contact français.**

**Panetto H.**, Juan J., Les échanges de données dans les progiciels de gestion industrielle, Organisation d'une journée d'information aux industriels français, 3 juillet 2001, Paris, France

**Panetto H.**, Juan J., Organisation d'une journée d'information aux industriels français, 23 octobre 2002, Paris, France

RPE3 Lauro L., Nunez M.J., **Panetto H.**, Goncalvez R., D2.1 : Evolution of the data model, COFURN IST-2000-25183 Thematic Network "Co-operation for consensus, standardisation and interoperability to support e-com services in the FURNiture industries sector", November 2001

- RPE4 Nunez M.J., Goncalvez R., **Panetto H.**, Lauro L., D1.1 : Dissemination activities, COFURN IST-2000-25183 Thematic Network "Co-operation for consensus, standardisation and interoperability to support e-com services in the FURNiture industries sector", June 2002
- PE4 **IST-ECOM-IS FSAP-DIS** (FunStep-Application Protocol Development Project); 2002-2003: 24 mois  
**Coordinateur** : AIDIMA (ES)  
**Partenaires** : UNINOVA (PT), UHP (FR), CLAC (IT), H&P (DE), TECNOHARD (ES), APPLICAD (ES), INTRES (IT), GOSET (FR)  
**Effort** : 78 hommes\_mois      **Effort CRAN** : 5 hommes\_mois
- Panetto H. : Responsable scientifique pour le CRAN dans ce projet.**
- RPE5 Nunez M.J., Goncalvez R., **Panetto H.**, Lauro L., D1.2 : ISO 10303-236 Working Draft, FSAP-DIS CEN/AIDIMA/2002/004
- RPE6 Nunez M.J., Goncalvez R., **Panetto H.**, Lauro L., Product data representation and exchange: Application protocol: Furniture catalog and interior design, ISO/DIS 10303-236 standard, Standard for the Exchange of Product model data, Geneva, 2005
- PE5 **IMS SMART-FM Thematic Network IMS-2001-00014** (A standards-compliant framework to support complete integrated product life-cycle information management and electronic commerce for the furniture manufacturing (fm) industry, in the advent of the smart enterprises) 2002-2005: 36 mois.  
**Coordinateurs** : AIDIMA (ES) & UNINOVA (PT)  
**Partenaires** : UHP (FR), CLAC (IT), DESIGNMARKET (Se), FIRA (UK), WEBMOBILI (IT), PJONES (UK), et 23 autres partenaires représentants académiques et industriels en Europe.  
La proposition IMS inclut, de plus, des partenaires du CANADA, des USA et de l'AUSTRALIE  
**Effort** : 292 hommes\_mois      **Effort CRAN** : 11 hommes\_mois
- Panetto H. : Responsable scientifique pour le CRAN dans ce partenariat**
- Participants du CRAN** : **Panetto H.**, Terzi S., Thomas A., Ortiz V.
- RPE7 Lauro L., **Panetto H.**, Thomas A., Nunez M-J., Goncalves R., D1.3 : Specification of the pilot demonstrators, IMS SMART-fm IST-2001-52224, January 2003
- RPE8 Nunez M.J., **Panetto H.**, Contreras N., Pinon L., D2.1 : Activity model for PLC phases and activities control, IMS SMART-fm IST-2001-52224, May 2003
- RPE9 Nunez M.J., **Panetto H.**, Terzi S., Castillo A., Horna P., D1.1a: State of the Art in PLC models: PLM models and Frameworks, Design and Manufacturing Processes, IMS SMART-fm IST-2001-52224, June 2003
- RPE10 Gianopoulos N., Roy R., **Panetto H.**, Ortiz V., Thomas A., Braga H., D1.1c: State of the Art in Extended Enterprises, IMS SMART-FM IST-2001-52224, June 2003
- RPE11 Nunez M-J., **Panetto H.**, Terzi S., Lauro L., Goncalves R., D2.5 Proposal for a suite of modules for PLC based on ISO 10303 STEP, including mechanisms for implantation. IMS-SMART-FM, IST-2001-52224, February 2005.
- RPE12 Goncalves R., **Panetto H.**, Terzi S., et al. D.1.4: SMART-fm Roadmap. IMS-SMART-FM IST-2001-52224, June 2005.
- RPE13 **Panetto H.** D6.1, D6.2, D6.3: Three Reports on dissemination activities and Smart-fm relevant results. IMS-SMART-FM IST-2001-52224, June 2005.

PE6 **UEML IST-2001-34229 Thematic Network** (Unified Enterprise Modelling Language) 2002-2003 : 15 mois.

**Coordinateur** : COMPUTAS (NO)

**Participants** : INRIA (CRAN et LORIA) (FR), UB1 (FR), GRAISOFT (FR), UoT (IT), UoN (BE), CIMOSA (DE), IPK (DE), UPV (ES)

**Effort global** : 70 hommes\_mois

**Effort CRAN** : 4 hommes\_mois

**Panetto H. : Responsable scientifique pour le CRAN dans ce partenariat**

**Participants du CRAN** : Panetto H., Pétin J.F.

RPE14 Petit M., **Panetto H.**, Petin J-F., Benali K., Boudjlida N., Berio G., et al. D1.1 : State of the Art in Enterprise Modelling, UEML TN IST – 2001 – 34229, September 2002

RPE15 Berio G., **Panetto H.**, Boudjlida N., Petit M., et al. D1.2: Guideline for UEML development and Management, UEML TN IST – 2001 – 34229, September 2002

RPE16 Berio G., **Panetto H.**, Benali K., Petit M., et al. D3.1: Requirements and future topics, UEML TN IST – 2001 – 34229, March 2003

RPE17 Berio G., **Panetto H.**, Petit M., Benali K., et al. D3.2: Core constructs, architecture and development strategy, UEML TN IST – 2001 – 34229, March 2003

PE7 **NoE INTEROP IST 508011** (Interoperability research for Networked Enterprises Applications and Software) 2003-2006 : 36 mois.

**Coordinateur** : Université de Bordeaux 1 (FR)

**Core members** : GRAISOFT (FR), UHP (FR), UoN (BE), IPK (DE), CIMOSA (DE), UoT (IT), CRF-FIAT (IT), LEKS-IASI (IT), TXT (IT), FORMULA (IT), ETU (NL), SINTEF (NP), COMPUTAS (NO), UPV (ES)

**Partenaires** : 40 membres représentants académiques et industriels dans le domaine des technologies de l'information

**Effort global** : 1660 hommes\_mois

**Effort CRAN** : 27 hommes\_mois

L'UHP est représentée par le CRAN et par le LORIA UMR 7503 (Prof. Nacer Boudjlida)

**Panetto H. : Responsable scientifique pour le CRAN dans ce projet.**

**Participants du CRAN** : Panetto H., Morel G., Bařna S., Wohed P., Tursi A.

**Panetto H.** : Membre du comité de pilotage du réseau d'excellence, membre du comité de coordination avec le projet ATHENA IP

**Panetto H.** : Co-leader avec CIMOSA du WP11 relatif à la dissémination, aux relations scientifiques du projet et aux relations avec la standardisation

RPE18 **Panetto H.**, Zelm M., D11.1: Plan for using and disseminating knowledge, INTEROP-NOE, Interoperability Research for Networked Enterprises Applications and Software Network of Excellence, n° IST 508-011, July 2004

RPE19 Doumeingts G., **Panetto H.**, et al., D12.1: The Methodology to implement services and develop take up actions towards SMEs, INTEROP-NOE, Interoperability Research for Networked Enterprises Applications and Software Network of Excellence, n° IST 508-011, November 2004

RPE20 **Panetto H.**, Zelm M., D11.2: External Network Achievement, workshops and one International Conference Report, Scientific Collaboration and Standardisation Report. INTEROP-NOE, Interoperability Research for Networked Enterprises Applications and Software Network of Excellence, n° IST 508-011, June 2005.

RPE21 Berio G., **Panetto H.**, Wohed P., et al. D5.1: UEML 2.0. INTEROP-NOE, Interoperability Research for Networked Enterprises Applications and Software Network of Excellence, n° IST 508-011, June 2005.

- RPE22 Chen D., **Panetto H.**, et al. D6.1: Practices, principles and patterns for interoperability. INTEROP-NOE, Interoperability Research for Networked Enterprises Applications and Software Network of Excellence, n° IST 508-011, Jun 2005.
- RPE23 **Panetto H.**, Zelm M., D11.3: Update of the plan for using and disseminating knowledge, INTEROP-NOE, Interoperability Research for Networked Enterprises Applications and Software Network of Excellence, n° IST 508-011, July 2005
- RPE24 Berio G., Opdhal A., Anaya V., Dassisti M., **Panetto H.**, Wohed P., Baïna S., et al. DEM1: UEML 2.1, Interoperability Research for Networked Enterprises Applications and Software Network of Excellence, n° IST 508-011, November 2005
- RPE25 Boudjlida N., Dong C., Baina S., **Panetto H.**, Haussmann K., Tomas J., Abian M., Nunez M.J., DTG4.1: A practical experiment on semantic enrichment in a homogeneous environment. Interoperability Research for Networked Enterprises Applications and Software Network of Excellence, n° IST 508-011, Juillet 2006

- Contrats industriels sans comité d'évaluation et avec rapports (6)

- PI1 **SPEX** (Environnement de Conception de la Partie Commande des M.S.A.P.) 1989-1991 : 24 mois  
Convention MITT/SERICS 87-2-4191  
**Partenaires** : TNI, MITT, UHP  
**Responsables Scientifiques** : Lhoste P., **Panetto H.**
- RPI1 Corbier F., Lhoste P., **Panetto H.**, Gueguen T.  
"Spex : Environnement de Conception de la Partie Commande des M.S.A.P."  
Rapport de fin de contrat, convention MITT/SERICS 87-2-4191, 1991.
- PI2 **COMEDI** (Méthodologie de spécification des Systèmes Automatisés de Production) 1991-1992 : 24 mois  
Concentration MRT n° 89/P0454  
**Partenaires** : TNI, MRT, RENAULT, UHP  
**Responsables Scientifiques** : **Panetto, H.**, Roesch M.
- RPI2 **Panetto H.**, Roesch M., Allanche P., Gueguen T.  
"Méthodologie de spécification des Systèmes Automatisés de Production"  
Rapport de fin de contrat MRT n° 89/P0454, aout 1992.
- PI3 Plusieurs contrats industriels avec l'EDF DER 1994-1996 : 36 mois  
**Partenaire** : EDF DER  
**Responsables Scientifiques** : **Panetto H.**, lung B.
- RPI3 Neunreuther E., **Panetto H.**, Petin J-F., lung B.,  
"Méthodologie de validation d'une bibliothèque de blocs fonctionnels élémentaires".  
Contrat n° P31/2M1347, date de fin : juin 95, 2 volumes, Partenaire : EDF/DER Chatou.
- RPI4 Chabassier R., **Panetto H.**, lung B.  
"Vérification comportementale des blocs fonctionnels élémentaires EDF hors implémentation".  
Contrat n° P31/2M3893, date de fin : décembre 95, 2 volumes, Partenaire : EDF/DER Chatou.
- RPI5 Chabassier R., Petin J-F., **Panetto H.**  
"Proposition d'une présentation graphique des Diagrammes Fonctionnels de réalisation".  
Contrat CRAN-EDF Chatou n°P31/2M4547, février 1996.

- PI4 **AGM ANVAR** (Atelier de Génie Multimédia pour la formation professionnelle) 1998-1999 : 24 mois  
**Partenaires** : UHP, ANVAR, EURILOR MULTIMEDIA, GRC  
**Responsables Scientifiques** : **Panetto H.**, Morel G., Lhoste P.
- RPI6 **Panetto H.**, Morel G.  
"DT 3.2 : Spécification Technique et Prototypage de l'atelier de Génie Multimédia"  
rapport final projet ANVAR n°9606048L, "Atelier de Génie Multimédia pour la formation professionnelle", CRAN, EURILOR MULTIMEDIA, GRC, Juin 1999
- PI5 **OPALE** (Outil pédagogique d'assistance à l'enseignement à distance) 2000-2001 : 24 mois  
**Partenaires** : EUROTECMEDIA, UHP, ANVAR  
**Responsables Scientifiques** : **Panetto H.**, Morel G.
- RPI7 **Panetto H.**, Morel G.  
"D1 : Spécification Technique de l'atelier de création de cours pour la Formation Individualisée par Compétences Opale"  
contrat de collaboration Université Henri Poincaré Nancy I, CRAN, Eurotecmedia, UNI 2000/16, projet d'innovation ANVAR n° A9909109L AE TC, Février 2000
- RPI8 **Panetto H.**  
"D2 : Spécification et développement de l'atelier de Génie multimédia OPALE"  
contrat de collaboration Université Henri Poincaré Nancy I, CRAN/GSIP, Eurotecmedia, UNI 2000/16, projet d'innovation ANVAR n° A9909109L AE TC, Mars 2001
- PI6 **EVALU** (Organisation des activités professionnelles et outil de positionnement individuel ou collectif) 2006-2007 : 18 mois  
**Partenaires** : UHP, CALFAT  
**Responsable Scientifique** : **Panetto H.**  
**Participants du CRAN** : **Panetto H.**, Gouyon D., Gend P.
- RPI9 Gouyon D., **Panetto H.**  
"D1 : Définition du modèle de données EVALU"  
Contrat de collaboration Université Henri Poincaré Nancy I, CRAN, Calfat, UNI 2005/074, Septembre 2006

## 2. PROTOCOLES DE COLLABORATION ET DE RECHERCHE

---

- Responsable d'un programme d'échange SOCRATES/ERASMUS entre l'UHP Nancy I et l'Université de Cracow (PL) (Prof. Janusz Szytko) depuis 1999. Dans ce cadre, nous avons accueilli M. le Prof. Janusz Szytko et plusieurs étudiants en Master Recherche et en Doctorat pour des périodes de 1 à 6 mois. Cette collaboration est toujours en cours et active.
- Responsable d'un programme d'échange SOCRATES/ERASMUS entre l'UHP Nancy I et le Politecnico di Milano (Prof. Marco Garetti) depuis 2003. Dans ce cadre, nous avons accueilli plusieurs étudiants en Master Recherche pour des périodes de 4 mois. Cette collaboration est toujours en cours et active.
- Responsable d'un programme d'échange SOCRATES/ERASMUS entre l'UHP Nancy I et l'Université de Turin (Dr. Giuseppe Berio) depuis 2004. Cette collaboration est toujours en cours et active.
- Responsable d'un programme d'échange SOCRATES/ERASMUS entre l'UHP Nancy I et le Politecnico di Bari (Italie) (Prof. Michele Dassisti) depuis 2006. Cette collaboration vient d'être initiée.
- Lhoste P., **Panetto H.**, Convention de collaboration entre l'Université de Nancy I et la Société PEUGEOT (DTN/MCA), Convention n° UNI 91-041 - Mars 1991

- Lhoste P., **Panetto H.**, Convention de collaboration entre l'Université de Nancy I et la Société CECIM (Torcy), Avril 1991
- Lhoste P., **Panetto H.**, Convention de collaboration entre l'Université de Nancy I et la Société SPIE AUTOMATION (Uckange) - Convention n° UNI 91-048 - Mai 1991
- Lhoste P., **Panetto H.**, Convention de collaboration entre le CRAN et le LAM (Université de Reims Champagne Ardenne), Décembre 1991
- Lhoste P., **Panetto H.**, Convention de collaboration entre le CRAN et le LIRMM (Université de Montpellier I) – Décembre 1991
- Lhoste P., **Panetto H.**, Convention de collaboration entre le CRAN et le LURPA (ENS Cachan) - Janvier 1992
- Lhoste P., **Panetto H.**, Convention de collaboration entre le CRAN et l'Université de Bretagne Occidentale, Département d'Informatique, Janvier 1993
- Collaboration de recherche Société TNI, CRAN de 1987 à 2001

### 3. SEJOUR DE RECHERCHE A L'ETRANGER

Dans le cadre de ma CRCT de 6 mois (du 1<sup>er</sup> février 2006 au 31 juillet 2006), je suis invité pour un séjour de recherche de 4 mois (du 1<sup>er</sup> février 2006 au 31 mai 2006) par M. le Prof. Maurizio Lenzerini à l'Université de Rome 1 « La Sapienza » en Italie, dans le département d'Informatique et Génie Système. Ce séjour est subventionné par les activités de mobilité du réseau d'excellence INTEROP, dans lequel nous sommes partenaires.

Le réseau d'excellence INTEROP, dans lequel l'UHP (CRAN et LORIA) et l'Université de Rome 1 sont partenaires, a pour objectif la définition scientifique du domaine de recherche relatif à l'interopérabilité par l'intégration, au niveau européen, de la recherche (et des chercheurs) issus de trois domaines distincts mais complémentaires :

- La modélisation d'entreprise nécessaire à l'étude des processus d'entreprise et la formalisation des besoins en interopérabilité des applications ;
- Les ontologies pour la formalisation de la sémantique des échanges inter-applications ;
- Les architectures d'exécution, pour la mise en œuvre effective de l'interopérabilité des applications.

Si la modélisation d'entreprise fournit un cadre méthodologique à l'expression des besoins en interopérabilité (point de vue syntaxique), il est toutefois indispensable de formaliser les relations sémantiques entre les applications. De ce constat, issu des travaux au sein d'INTEROP et de mon activité de recherche au CRAN, nous mettons en œuvre des approches basées sur les ontologies apportant la formalisation des connaissances et de la sémantique des modèles d'entreprise afin de s'assurer une compréhension communes des modèles interopérables.

L'université de Rome 1, et en particulier l'équipe de recherche dirigée par **M. le Professeur Maurizio Lenzerini**, est spécialiste du domaine des ontologies et en particulier leur formalisation sur la base de logiques de descriptions.

L'objectif de cette collaboration, dans le cadre de mon Congé pour Recherche, est ainsi d'intégrer nos connaissances respectives sur la Modélisation d'Enterprise appliquée à l'interopérabilité des applications d'entreprises avec une formalisation d'ontologies d'entreprises nécessaires à la définition sémantique des modèles interopérables. Cette collaboration, engagée dans le cadre du réseau d'excellence INTEROP, a déjà donné lieu à une communication conjointe [CI26] et la co-organisation de deux workshops internationaux [WS1][WS4].

## Références Bibliographiques

---

### - Scientifiques

- Adali S, Candan K, Papakonstantinou Y, and Subrahmanian V. S. (1996). Query caching and optimization in distributed mediator systems. In: *Proceedings of SIGMOD*, Montreal, 4–6 June 1996, pp 137–148
- AMICE. (1993). *CIMOSA: Open System Architecture for CIM*, Research Reports ESPRIT, 1, Project 688/5288. Springer-Verlag.
- Berio, G., and Petit, M. (2003). Enterprise Modelling and the UML: (sometimes) a conflict without a case. In *Proc. of Concurrent Engineering Conference 03*, July 26-30, Madeira Island, Portugal
- Bernus P., Mertins K., and Schmidt G. (Eds) (1998). *Handbook on Architectures of Information Systems*. Springer Verlag, ISBN 3-540 64 453 9.
- Brinkkemper S., Saeki M., and Harmsen F. (1999). Meta-modelling based assembly techniques for situational method engineering, *Information Systems*, Vol 24, N.3, 1999, pp.209-228.
- Browne J., Sackett P.J., and Wortmann J.C. (1995). Future Manufacturing Systems – towards the extended Enterprise. *Computers in Industry*. **25** (3), pp 253-254
- Bourey J.-P., Grangel R., Berre A., Doumeingts G., Kalampoukas K., Bertoni M., Pondrelli L., and Daclin N. (2005), *DTG2.1: Report on model establishment*. Interoperability Research for Networked Enterprises Applications and Software Network of Excellence, n° IST 508-011, November
- Calvanese D., De Giacomo G., and Lenzerini M. (2002). Description logics for information integration. In *Computational Logic: From Logic Programming into the Future* (In honour of Bob Kowalski), Lecture Notes in Computer Science. SpringerVerlag, 2002.
- Carlock P. G., Fenton R. E. (2001). System of Systems (SoS) enterprise systems engineering for information-intensive organizations. *Systems Engineering*, **4/4**, 242 – 261, Willey
- Chamberlin D., Robie J., and Florescu D. (2000). Quilt: an XML query language for heterogeneous data sources, *Proc. of the Workshop on the Web and Databases (WedDB)*. In conj. with SIGMOD'00, Dallas - Texas, May 2000, Addison Wesley.
- Chen D. and Vernadat F. (2004). Standards on enterprise integration and engineering – A state of the art, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing (IJCIM)*, Volume 17, n°3, April-May 2004, pp.235-253.
- Chen D., et al. (2005). *Deliverable DI.1: Interoperability Knowledge Corpus*. Interoperability Research for Networked Enterprises Applications and Software Network of Excellence, n° IST 508-011, November 2005
- Cheng M.L. and Simmons J. E. L. (1994). Traceability in manufacturing systems. *International Journal of Operations and Production Management*, **14**, 4-16
- Clark T., and Jones R. (1999). Organisational Interoperability Maturity Model for C2, In *Proceedings of the Command And Control Research And Technology Symposium (CCRTS)*, June 29, July 1, Newport, RI, USA
- D'Antonio F., Bottoni P., Hausmann K., Jaekel F.-W., Milano D., Iacob M.E., and Missikoff M. (2005), *DTG3.1: Model morphism roadmap*. Interoperability Research for Networked Enterprises Applications and Software Network of Excellence, n° IST 508-011, November
- Doan A., Madhavan J., Dhamankar R., Domingos P., and Halevy A. (2003). Learning to match ontologies on the Semantic Web. *The VLDB Journal — The International Journal on Very Large Data Bases archive*. **12/4**, 303-319, November, ISSN:1066-8888. Springer-Verlag New York



- Doumeingts G., Vallespir B. and Chen D. (1998). Decision modelling GRAI grid, Chapter in: P. Bernus, K. Mertins, G. Schmidt (Eds.) *Handbook on architecture for Information Systems*, Springer-Verlag.
- Doumeingts G., Vallespir B., Zanettin B., and Chen D. (1992). *GIM, GRAI Integrated Methodology - A methodology for designing CIM systems*, Version 1.0, LAPI/GRAI, University of Bordeaux 1, France, 1992.
- Favre J.-M., Estublier J., and Blay-Fornarino M. (2006). *L'ingénierie dirigée par les modèles : au-delà du MDA*, Traité IC2, série informatique et Systèmes d'Information, 2006
- Fox M. S., Barbucaeanu M., and Gruninger M. (1996). An organisation ontology for enterprise modelling: Preliminary concepts for linking structure and behaviour. *Computers in industry*. **29**. pp 123-134.
- Garcia-Diez A.B., et al. (2005). *Deliverable DA1.1.2: Second Version of State of the Art in Enterprise, Modelling Techniques and Technologies to Support Enterprise Interoperability*. ATHENA IP IST-507849, June, <http://www.athena-ip.org>
- Garcia-Molina H., Papakonstantinou Y., Quass D., Rajaraman A., Sagiv Y., Ullman J., Vassalos V., and Widom J. (1997). The TSIMMIS Approach to Mediation: Data Models and Languages. *Journal of Intelligent Information Systems*, Volume 8 Issue 2, March 1997.
- Gruber T.R. (1993). Toward principles for the design of ontologies used for knowledge sharing. In *Formal Ontology in Conceptual Analysis and Knowledge Representation* (N. Guarino and R. Poli, eds.), Kluwer Academic Publishers.
- Halevy A, and Madhavan J. (2003). Composing mappings among data sources. In: *Proceedings of the conference on very large databases*, Berlin, Germany, 9–12 September 2003, pp 572–583
- Halevy G. Ives, Dan Suciu D. and Tatarinov I. (2005). Schema mediation for large-scale semantic data sharing, *The VLDB Journal — The International Journal on Very Large Data Bases*, Volume 14 , Issue 1
- Hollocks B.W., Goranson H.T., Shorter D.N., and Vernadat F.B. (1997). Assessing Enterprise Integration for Competitive Advantage In: *Proceedings of ICEIMT'97. Enterprise Engineering and Integration: Building International Consensus*, (K. Kosanke, J.G. Nell eds.), pp. 96-107, ISBN 3-540-63402-9.
- Jansen-Vullers J., A. van Dorp, and B. Beulens (2003). Managing traceability information in manufacture, *International Journal of Information Management*, **23**, 395-413
- Kärkkäinen J., Ala-Risku J., and Främling J. (2003). The Product centric approach: a solution to supply network information management problems?, *Computer in Industry*, **52**, 147-159
- Klein M. (2001). Combining and relating ontologies: an analysis of problems and solutions. *Proceedings of the IJCAI-01 Workshop on Ontologies and Information Sharing*, Seattle, USA, August 4-5, 2001.
- Klischewski R. (2004). Information integration or process integration: How to achieve interoperability in administration. *EGOV04 at DEXA*, 30 August - 3 September, 2004, Zaragoza, Spain.
- Kosanke K., Vernadat F.B., and Zelm M. (Eds.) (1999). CIMOSA: CIM open systems architecture - evolution and application in enterprise engineering and integration. *Computers in Industry*, special issue, **40**(2-3).
- Lemesle R. « Transformation Rules Based on Meta-Modelling ». *IEEE EDOC'98*, La Jolla, California, 3-5 November 1998, p. 113-122.
- Levendovszky T., Karsai G., Maroti M., Ledeczi A. and Charaf H. (2002). Model Reuse with Metamodel-Based Transformations. In *Proceedings of the 7th International Conference on Software Reuse: Methods, Techniques, and Tools table of contents. April 15 - 19, 2002*. p. 166 – 178
- Levy P. (1994). *L'intelligence collective: pour une anthropologie du Cyberspace*. Paris, Edition La Découverte.

- Lhote F., Chazelet Ph. And Dulmet M. (1999). The extension of principles of Cybernetics towards Engineering and Manufacturing. *Annual Reviews in Control*, **23**, 139-148
- Madhavan P.A., Bernstein P., Domingos and Halevy A. « Representing and reasoning about mappings between domain models”. *In Proceedings of the 18<sup>th</sup> National Conference on Artificial Intelligence (AAAI'02)*, Edmonton, Alberta, Canada, August 2002.
- Maedche A. and Staab S. (2000). Semi-automatic engineering of ontologies from texts. *In Proceedings of the 12th International Conference on Software Engineering and Knowledge Engineering (SEKE 2000)*, Chicago, IL, USA, 231–239, July 2000.
- Marik V, and Pechoucek M (2001). Special issue on industrial applications of Holonic and Multi-Agent Systems. *Journal of Applied System Sciences*. **2/1**
- Mayer F. (1995). *Contribution au Génie Productique : application à l'ingénierie pédagogique en Atelier Inter-Etablissements de Productique Lorrain*. Thèse de doctorat de l'Université Henri Poincaré Nancy I
- Mayer F., Morel G. and Kapp K.H. (1996). Contribution to education engineering within a CIM centre. *Proceedings of the research workshop of ERNET European project*, World Scientific Publishing, September, Darmstadt, Germany.
- McFarlane D., J. Sarma, G. Chirn, J. Wong, and A. Ashton (2003). Auto-ID systems and intelligent manufacturing control, *Journal of Engineering Applications of Artificial Intelligence*, **16**, 365 – 376
- Medjahed, B. (2004). *Semantic Web Enabled Composition of Web Services*. PhD Thesis, Virginia Polytechnic Institute. Falls Church
- Mellor S.J., Kendall S., Uhl A. and Weise D. (2004). *Model Driven Architecture*, Addison-Wesley Pub Co, March, ISBN: 0201788918.
- Ménadier, J.P. (2002). *Le metier d'intégration de systèmes*. Hermès Science Publications, Lavoisier, ISBN 2-7462-0596-3
- Mertins K. and Jochem R. (1999). *Quality-Oriented Design of Business Processes*. Kluwer Academic Publishers, Boston/Dordrecht/London, 1999. ISBN 0-7923-8484-9.
- Miller J. and Mukerji J., (eds.), (2003). *MDA Guide Version 1.0*, OMG Document: omg/2003-05-01, [http://www.omg.org/mda/mda\\_files/MDA\\_Guide\\_Version1-0.pdf](http://www.omg.org/mda/mda_files/MDA_Guide_Version1-0.pdf), May.
- Minsky M. L. (1975). A Framework for Representing Knowledge. *Report A.I MEMO 306*, Massachusetts Institute of Technology, A.I. Lab., Cambridge, Massachusetts, June. McGraw-Hill, P.H. Winston (Ed.), "Psychology of Computer Vision"
- Moe G. (1998). Perspectives on traceability in food manufacture, *Trends in Food Science & Technology*, **9**, 211-214
- Naumenko A., Wegmann A. (2003). Two Approaches in System Modelling and Their Illustrations with MDA and RM-ODP. In *ICEIS 2003, the 5th International Conference on Enterprise Information Systems*, p. 398-402.
- Nof S.Y., Morel G., Monostori L., Molina A. and Filip F. (2006). From plant and logistics control to multi-enterprise collaboration. *IFAC Annual Reviews in Control*. **30/1**, 55–68, July
- Norrie, D.H., Brennan, R.W., (2002). Special issue on Holons: Autonomous and Cooperative Agents for Industry. *Journal of Integrated Computer-Aided Engineering*. **9/3**
- Obrst L. J. (2004). “Ontologies and Semantic Web for Semantic Interoperability”. *Semantic Technologies for e-Government Conference*, September 8-9, 2004, McLean, USA.
- Papastavrou S., Pitoura E. and Samaras G. (1999). Mobile Agents for WWW Distributed Database Access. In the 15th *International Conf. on Data Engineering.*, Sydney, Australia, March 1999.
- Parent C., and Spaccapietra S. (2000). Database integration: the key to data interoperability. In *Papazougou M.P. Spaccapietra S. Tari (Eds), Advances in Object-Oriented Data Modeling*. MIT Press, 2000.

- Park J. and Ram S. « Information System Interoperability: What Lies Beneath? » *In ACM Transactions on Information Systems*, Vol. 22, No. 4, October 2004.
- Patwardhan S., Banerjee S., and Pedersen T. (2003). Using Measures of Semantic Relatedness for Word Sense Disambiguation. *Proceedings of Computational Linguistics and Intelligent Text Processing: 4th International Conference, CICLing 2003*, Mexico City, Mexico, February 16-22, 2003. 241-257. LNCS 2588, Springer-Verlag, ISSN: 0302-9743
- Petit M. (2002). Some methodological clues for defining a UEML. *IFIP International Conference on Enterprise Integration and Modelling Technology (ICEIMT'02)*, 381-387, Kluwer Academics Publisher, April 24-26, 2002, Valencia, Spain, ISBN: 1-4020-7277-5
- Quillian R. (1968). Semantic Memories, In M. M. Minsky, editor, *Semantic Information Processing*, pages 216-270. Cambridge, MA: MIT Press
- Rahm E, and Bernstein P.A. (2001). A survey of approaches to automatic schema matching. *The VLDB Journal*, Volume 10 issue 4:334–350
- Roddick J. F., Hornsby K., and de Vries D. (2003). A unifying semantic distance model for determining the similarity of attribute values. *Proceedings of the twenty-sixth ACM Australasian computer science conference on Conference in research and practice in information technology*, 111-118, **16**
- Rodríguez A., and Egenhofer M. (2003). Determining Semantic Similarity Among Entity Classes from Different Ontologies. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*. **15/2**, 442-456
- Seidel D., and Mey M. (1994). *IMS – Holonic Manufacturing Systems: systems components of autonomous models and their distributed control – 0*. Also known as The Book of HMS, TC5 project
- Sowa J. F. and Zachman J. A. (1992). Extending and Formalizing the Framework for Information Systems Architecture, *IBM Systems Journal*, **31/3**, 590–616
- Tolk A. and J. A. Muguira (2003). The Levels of Conceptual Interoperability Model. *Simulation Interoperability Workshop*, September, Orlando, Florida
- Touzi J., Benaben F., Pingaud H. (2006). Collaborative Information System Design: From Process Model to Information System Model. *Proceedings of the 12<sup>th</sup> IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing (INCOM'2006)*, May, 17-19, 2006, Saint Etienne, France, Elsevier
- Ushlod, M. (2003). *Where are the semantics in the semantic web?* *AI Magazine* 24(3), 2003.
- Vernadat, F.B. (1996). *Enterprise Modelling and Integration: principles and applications*. Chapman & Hall, ISBN: 0 412 60550 3
- Vernadat F.B. (1999). *Techniques de Modélisation en Entreprise : Application aux Processus Opérationnels*. Paris, Economica, Collection Gestion, Eyrolles, ISBN : 2-7178-3853-8
- Villa A. (2002). Autonomy versus efficiency in multi-agent management of extended enterprises. *Journal of Intelligent Manufacturing*, **13/6**, December. Springer Verlag, ISSN 0956-5515
- Wand Y. and Weber R. (1990). An Ontological Model of an Information System. *IEEE Transactions on Software Engineering*. November, 1282 -1292.
- Wand Y. and Weber R. (1995). On the deep structure of information systems. *Information Systems Journal*, **3**, 203-223
- Williams T.J. et al. (1994). The Purdue Enterprise Reference Architecture, *Computers in Industry*, **24**(2-3), 1994.
- Zachman J. A. (1987). A Framework for Information Systems Architecture, *IBM Systems Journal*, **26/3**, 276–295

## - Techniques

- C4ISR Architectures Working Group report (1998). *Levels of Information Systems Interoperability (LISI)*, DoD, February 1998, Washington, DC
- DoD (1994). Joint Staff Publication No. 1-02. *Department of Defence Dictionary of Military and Associated Terms in support of MIL-STD-188*. Federal Standard 1037C, 1994
- EIF (2004), *European Interoperability Framework for pan-European eGovernment Services, Interoperable Delivery of European eGovernment Services to public Administrations, Businesses and Citizens (IDABC)*, November, Luxembourg
- EU report (2003). *The Role of eGovernment for Europe's Future*. (COM(2003) 567 final, September 2003
- EXTERNAL (2000). *Extended Enterprise Resources, Networks and Learning*, EC project, IST- 1999-10091, 2000.
- GERAM (1997). *Generalized Enterprise Reference Architecture and Methodology* Version 1.5, IFAC-IFIP Task Force on Enterprise Integration.
- NATO Allied Data Publication 34 (ADatP-34) (2003). *NATO C3 Technical Architecture (NC3TA)*, Version 4.0
- Sematech (1995), *Device Interoperability Guideline for Sensors, Actuators, and Controllers*, Technology Transfert 94102567A-STD, February. [www.sematech.org](http://www.sematech.org)

## - Standards

- CEN (1995), CEN/CENELEC ENV 12204. *Advanced Manufacturing Technology, Systems Architecture, Constructs for Enterprise Modelling*, CEN, Brussels, Belgium.
- IEC 62264 (2002). *Enterprise-control system integration*. Part 1. Models and terminology. Part 2: Model object attributes. ISO/IEC FDIS Standard, IEC and ISO, Geneva, Switzerland.
- IEC 62390 (2005). *Common automation device. Profile guideline*, IEC TC 65/290/DC Device Profile Guideline (2002), TC65: Industrial Process Measurement and Control. IEC TR 62390, IEC, Geneva, Switzerland
- IEEE (1990), IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers). *Standard Computer Dictionary- A Compilation of IEEE Standard Computer Glossaries*. NY. 610-1990. ISBN: 1559370793
- IEEE (2000). Standards Information Network. IEEE 100, *The Authoritative Dictionary of IEEE Standards Terms*, Seventh Edition. New York, NY, IEEE
- ISO 14258 (1999). *Industrial automation systems and integration – Concepts and rules for Enterprise Models*, Geneva, Switzerland
- ISO 15745 (2003), *Industrial automation systems and integration – Open systems application integration framework*, Geneva, Switzerland
- ISO/DIS 19440 (2006). *Entreprise Intégrée – Constructions pour la modélisation d'entreprise*, ISO, ISO TC 184/SC5/WG1 - CEN TC 310/WG1 , Genève
- ISO/IEC 15288 (2002). *System Life Cycle Processes and its Guide* ISO, ISO TC 184/SC7/JTC1, Genève
- ISO/IEC 23821 (1993). *Information technology Vocabulary. Part 1: Fundamental terms*. ISO/IEC, Geneva, Switzerland.
- PSL (2002). *Industrial automation system and integration - Process specification language: Part 11: PSL-Core*. ISO/CD 18629-11.
- UML (2003). *UML 1.5 specification*, OMG. <http://www.orm.org>
- WfMC (1998). Workflow Management Coalition. *Interface 1: Process Definition Interchange – Process Model*, WfMC, Hampshire – UK, Nov. 1998. (Official Release – 7.04)



## Acronymes

---

|       |   |
|-------|---|
| APS   | Advanced Planning and Scheduling                    |
| B2B   | Business to Business                                |
| B2C   | Business to Customer                                |
| B2M   | Business to Manufacturing                           |
| B2MML | Business to Manufacturing Markup Language           |
| CAO   | Conception Assistée par Ordinateur                  |
| CEN   | Comité Européen de Normalisation                    |
| CIM   | Computer Integrated Manufacturing                   |
| DIS   | Draft International Standards                       |
| EAI   | Enterprise Application Integration                  |
| EE    | Enterprise Etendue                                  |
| ELME  | Environnement Logiciel de Modélisation d'Entreprise |
| ERP   | Enterprise Resource Planning                        |
| EV    | Entreprise Virtuelle                                |
| HMS   | Holonic Manufacturing Systems                       |
| IE    | Intégration d'Entreprise                            |
| IEC   | International Electrotechnical Commission           |
| ISA   | Instrument Society of America                       |
| ISO   | International Organisation for Standardisation      |
| LME   | Langage de Modélisation d'Entreprise                |
| ME    | Modèle d'Entreprise                                 |
| MES   | Manufacturing Execution System                      |
| MESA  | Manufacturing Execusion Systems Association         |
| MEMS  | Micro Mechatronics Systems                          |
| OPC   | OLE for Process Control                             |
| PDM   | Product Data Management                             |
| PLM   | Product Lifecycle Management                        |
| PRM   | Purdue Reference Model                              |
| RFID  | Radio Frequency IDentification                      |
| SCE   | Sypply Chain Execution                              |
| SCM   | Supply Chain Management                             |
| STEP  | Standard for the Exchange of Product model data     |
| UEML  | Unified Enterprise Modelling Language               |
| UML   | Unified Modeling Language                           |
| WfMC  | Workflow Management Coalition                       |
| WPDL  | Workflow Process Definition Interface               |
| XML   | eXtensible Markup Language                          |

## Liste des Figures

---

|   |    |
|---|----|
| FIGURE 1 : ORGANISATION THÉMATIQUE DU CRAN.....   | 7  |
| FIGURE 2 : INTEROPERABILITY CAPABILITY MODEL (C4ISR, 1994).....   | 14 |
| FIGURE 3. NIVEAUX DE COMPATIBILITÉ SELON IEC 62390 (IEC 62390, 2005).....   | 17 |
| FIGURE 4 : L'APPROCHE MDA ET LES QUATRE NIVEAUX DE MODÈLES.....   | 20 |
| FIGURE 5 : TRANSFORMATION DE META-MODÈLE (LEMESLE, 1998).....   | 20 |
| FIGURE 6 : L'ARCHITECTURE DE RÉFÉRENCE ZACHMAN (SOWA AND ZACHMAN, 1992).....  | 22 |
| FIGURE 7 : DIFFÉRENTES TYPOLOGIES D'INTEROPÉRABILITÉ.....   | 23 |
| FIGURE 8 : DIAGRAMME DE CARACTÉRISATION DES PROCESSUS D'INGÉNIERIE DE L'INTEROPÉRABILITÉ.....                                     | 25 |
| FIGURE 9 : POSITIONNEMENT DES THESES CODIRIGÉES DANS UN CONTEXTE D'ENTREPRISE.....  | 27 |
| FIGURE 10 : EXTRAIT DU META-MODÈLE PROPOSÉ DANS [TH1].....  | 33 |
| FIGURE 11 : MÉCANISMES DE TRADUCTION PAIR-À-PAIR.....   | 38 |
| FIGURE 12 : TRADUCTIONS DES MÉS PAR UN UEML.....  | 39 |
| FIGURE 13 : NIVEAUX DE RELATIONS DANS LE CAS D'UTILISATION DE PLUSIEURS LMES.....   | 41 |
| FIGURE 14 : STRATÉGIE POUR UEML 1.0.....  | 47 |
| FIGURE 15 : MÉTA-MODÈLE D'UEML 1.0.....   | 48 |
| FIGURE 16 : META-MODÈLE RELATIF AU CONCEPT D'HOLON [CI34][ TH2].....  | 52 |
| FIGURE 17 : MODÉLISATION HOLONIQUE ET INTERFACES.....   | 53 |
| FIGURE 18 : EXTRAIT DU META-META-MODÈLE D'UN LANGAGE DE MODÉLISATION [RPE24].....   | 54 |
| FIGURE 19 : L'ARCHITECTURE CIM DE L'AIPL.....   | 55 |
| FIGURE 20 : INTEROPÉRABILITÉ DES SYSTÈMES D'ENTREPRISE CENTRÉE SUR LE PRODUIT.....  | 56 |
| FIGURE 21 : L'ONTOLOGIE « PRODUIT » POUR L'INTEROPÉRABILITÉ DES APPLICATIONS.....   | 61 |
| FIGURE 22 : L'ONTOLOGIE ORIENTÉE INFORMATIONS ET SERVICES CENTRÉE SUR LE PRODUIT POUR<br>L'INTEROPÉRABILITÉ DES APPLICATIONS..... | 62 |

## Liste des Tableaux

---

|  |    |
|--|----|
| TABLEAU 1 : ADAPTATION DU METRIQUE "ENTERPRISE INTEGRATION CAPABILITY MODEL" (HOLLOCKS, <i>ET AL.</i> , 1997)..... | 9  |
| TABLEAU 2 : POSITIONNEMENT SCIENTIFIQUE DES PROJETS ET DES THESES CODIRIGÉES OU EN COURS .....                     | 9  |
| TABLEAU 3 : LES CADRES DE CARACTÉRISATION DE L'INTEROPÉRABILITÉ.....   | 23 |
| TABLEAU 4 : ANALOGIE ENTRE LES DOMAINES DE LME ET DES BASES DES DONNÉES .....                                      | 44 |
| TABLEAU 5 : LANGAGES À LA BASE DE UEML 1.0 .....   | 46 |
| TABLEAU 6 : CORRESPONDANCES SÉMANTIQUES ENTRE IEM, EEML, GRAI, ET UEML 1.0 .....                                   | 48 |
| TABLEAU 7 : EXTRAIT D'UNE FORMALISATION DL-LITE DE L'IEC 62264.....  | 59 |
| TABLEAU 8 : SYNTHÈSE DE MES ACTIVITÉS D'ADMINISTRATION DE L'ENSEIGNEMENT.....                                      | 67 |
| TABLEAU 9 : RECAPITULATIF QUANTITATIF DE NOS ENSEIGNEMENTS ENTRE 1991 ET 2006.....                                 | 68 |
| TABLEAU 10 : ACTIVITÉS DE FORMATION CONTINUE ENTRE 1987 – 1993.....  | 69 |





## Annexes : Publications Internationales

---

### CONFERENCE AVEC COMITE DE LECTURE ET ACTES

---

**Panetto H.** (2002). UML semantics representation of enterprise modelling constructs. **Invited paper.** *IFIP International Conference on Enterprise Integration and Modelling Technology (ICEIMT'02)*, 381-387, Kluwer Academics Publisher, April 24-26, 2002, Valencia, Spain, ISBN: 1-4020-7277-5

### REVUES AVEC COMITE DE LECTURE

---

Morel G., **Panetto H.**, Zaremba M.B., Mayer F. (2003). Manufacturing Enterprise Control and Management System Engineering: paradigms and open issues. *IFAC Annual Reviews in Control*. **27/2**, 199-209, Elsevier, December 2003, ISSN: 1367-5788

**Panetto H.**, Petin J.F., (2005). Metamodelling of production systems process models using UML stereotypes, *International Journal of Internet and Enterprise Management*, **3/2**, 155-169, Inderscience Publisher, ISSN: 1476-1300

**Panetto H.**, Bařina, S., Morel G. (2007). Mapping the IEC 62264 models onto the Zachman framework for analysing products information traceability: a case study. *Journal of Intelligent Manufacturing*, Springer Verlag, ISSN 0956-5515, à paraître

**Panetto H.** (2007). Towards a Classification Framework for Interoperability of Enterprise Applications. *International Journal of CIM*, Taylor & Francis, ISSN: 0951-192X, à paraître





**HABILITATION A DIRIGER DES RECHERCHES  
SPECIALITE : GENIE INFORMATIQUE**

**UNIVERSITE HENRI POINCARÉ – NANCY I**

---

**Meta-modèles et modèles  
pour l'intégration et l'interopérabilité des applications  
d'entreprises de production**

---

**Hervé PANETTO ([Herve.Panetto@cran.uhp-nancy.fr](mailto:Herve.Panetto@cran.uhp-nancy.fr))**

**Maître de Conférences à l'UHP NANCY I, 61<sup>ème</sup> section du CNU**

Ecole Doctorale IAEM Lorraine, DFD Automatique

Ecole Supérieure d'Informatique et Applications de Lorraine

Centre de Recherche en Automatique de Nancy (CRAN-UMR 7039),  
Nancy-Université, CNRS

**RESUME :**

L'intégration des systèmes consiste à assembler les différentes parties d'un système tout en assurant la compatibilité de l'assemblage ainsi que le bon fonctionnement du système complet. Depuis les années quatre-vingt-dix, l'intégration des systèmes d'entreprise a fait l'objet d'une attention croissante ; elle est ainsi devenue un thème de recherche développé dans plusieurs équipes universitaires et industrielles dans le monde autant qu'elle a suscité de nombreux travaux au sein des organisations scientifiques internationales, notamment IFAC et IFIP, et de normalisation, particulièrement IEC, ISO et CEN. Dans ce cadre, l'interopérabilité des systèmes est un moyen pour obtenir l'intégration, fondé sur un couplage faible des parties du système, basé sur la capacité des parties à communiquer entre elles pour accéder et faire appel à leurs fonctionnalités.

Plus récemment, au cours de la dernière décennie, une nouvelle approche d'ingénierie logicielle a été élaborée : l'ingénierie dirigée par les modèles. Dans cette nouvelle approche, les modèles occupent une place de premier plan parmi les artefacts d'ingénierie des systèmes. En effet, ils doivent être suffisamment précis afin de pouvoir être interprétés ou transformés par des outils logiciels, tout en étant mis en correspondance avec les démarches d'ingénierie système. Le rôle central des modèles dans le développement des capacités d'interopérabilité participe notablement à cette qualité, car les processus d'ingénierie de l'interopérabilité des applications sont basés sur des flux de modèles.

Ce mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches est centré sur l'étude des modèles en vue de l'interopérabilité des systèmes, et plus particulièrement des systèmes d'entreprises, centrée sur la représentation des produits. Pour contribuer à la fiabilisation des modèles d'entreprise et de leur interrelations pour l'intégration forte des applications, le projet de recherche proposé dans ce mémoire a pour objectif, dans un contexte d'ingénierie système appliqué aux systèmes de systèmes, de définir, d'étendre et de formaliser les processus de modélisation des systèmes d'entreprise en tenant compte des connaissances, généralement non explicites, des acteurs de ces systèmes. Cette preuve de concept relatif à la formalisation de la connaissance des modèles se base sur la définition d'ontologies, ainsi que la mise en correspondance, la transformation et l'échange de modèles, permettant l'intégration des applications d'entreprise et assurant ainsi des flux d'informations cohérents entre tous les acteurs. Ils nécessitent ainsi de rendre explicite la connaissance tacite des modélisateurs (et opérateurs) sur les processus (et donc les modèles) dont ils sont responsables ou auteurs.