

**HABILITATION  
A DIRIGER DES RECHERCHES**

*Discipline : SCIENCES PHYSIQUES*

Présentée et soutenue publiquement

le 2 décembre 2005

par

**Michel BIGAND**

*Maître de Conférences à l'Ecole Centrale de Lille*

*Docteur de l'Université de Paris 6*

---

**INTEGRATION DE MODELES POUR L'INGENIERIE DES  
SYSTEMES DE CONCEPTION**

---

*Jury :*

M. le Professeur Alain BERNARD	(IRCCyN, Nantes)	Rapporteur
M. le Professeur Pierre BORNE	(LAGIS, Centrale Lille)	Examineur
M. le Professeur Jean-Pierre BOUREY	(ERGI, Centrale Lille)	Directeur de recherche
M. le Professeur Jean-Paul BOURRIERES	(LAP, Bordeaux)	Rapporteur
M. le Professeur Jean-Claude GENTINA	(LAGIS, Centrale Lille)	Président
M. le Professeur Jean-Jacques LESAGE	(LURPA, Cachan)	Rapporteur
M. le Professeur Salah MAOUCHE	(LAGIS, Lille 1)	Examineur

---

---

## Sommaire

### Première Partie : Bilan des activités

---

Curriculum Vitae .....	7
Activités de recherche.....	9
Publications et encadrements .....	15
Activités pédagogiques et d'enseignement .....	29
Responsabilités collectives et administratives .....	33

### Deuxième Partie : Recherche

---

Synthèse des activités de recherche.....	37
1. Introduction .....	37
2. Conception automatique de produits .....	39
3. Ingénierie de développement informatique.....	43
4. Référentiel pour la conception des systèmes de production .....	47
5. Spécification de produit .....	59
6. Mémoire de projet de conception .....	67
Perspectives de recherche .....	77
1. Positionnement des thèmes de recherche.....	77
2. Ingénierie des exigences du produit.....	78
3. Ingénierie de l'innovation .....	79
4. Ingénierie de projet : méthode et pilotage agile .....	79
5. Ingénierie des connaissances .....	80
6. Plan de travail .....	81
7. Objectifs et conclusion .....	81
Références bibliographiques .....	83

### Troisième partie : Copies de publications

---

#### Annexe 1 [RI/05/2]

*"Models integration for the elaboration of a domain multi-view in accidentology"*  
BEN AHMED M., MEKHILEF M., BIGAND M., PAGE Y.  
Studies in Informatics and Control, n° #4/2005, 2005.

#### Annexe 2 [RI/05/1]

*"A semi-formal approach to build the Functional Graph of an APS for supervision purposes"*  
GHAZEL M., TOGUYENI A., BIGAND M.  
IJCIM, International Journal of Computer Integrated Manufacturing, France, June 2005.

#### Annexe 3 [RI/04/6]

*"An UML approach for the metamodeling of Automated Production Systems for monitoring purpose"*  
GHAZEL M., TOGUYENI A., BIGAND M.  
Computer in Industry, Vol.55, n°3, pp283-299, December 2004.

#### Annexe 4 [RI/04/5]

*"Integration of FMS performance evaluation models using patterns for an information system design"*  
BIGAND M., KORBAA O., BOUREY J.P.  
Computers & industrial Engineering (CIE), Vol.46, Issue 4, pp625-637, July 2004.

---

Annexe 5 [RI/04/3]

*"A curriculum of value creation and management in engineering"*

YANNOU B., BIGAND M.

European Journal of Engineering Education, France, Vol.29-3, pp355-366, September 2004.

Annexe 6 [RI/02/2]

*"Information system for production engineering: contribution to maintaining consistency of composite data using an object-oriented approach"*

NDIAYE D., BIGAND M., CORBEEL D., BOUREY J.P.

International Journal of Computer Integrated Manufacturing, IJCIM, Taylor & Francis Pub., Vol.15, n°3, pp233-241, April 2002.

Annexe 7 [RI/00/1]

*"Project monitoring in a graduate engineering school"*

BIGAND M., CRAYE E., DESHAYES P.

IEEE/SMC Transactions, Part C: Applications and reviews, Vol.30, n°2, pp183-188, May 2000.

## **Annexe 8 : Rapports de soutenance de thèse et autorisations d'encadrement**

### **Notations :**

[TT/YY/N] publication personnelle TT = type<sup>1</sup> YY = année N = numéro d'ordre

[AUT YY] référence bibliographique AUT = 3 premières lettres du 1<sup>er</sup> auteur YY = année

---

<sup>1</sup> Cf page 15

---

**Première partie**

**Bilan des activités**



## Curriculum Vitae

### État civil

*Nom patronymique :* **BIGAND**  
*Prénoms :* Michel, Pierre  
*Date et lieu de naissance :* 10 décembre 1957 à Lille (Nord)  
*Nationalité :* française  
*Situation de famille :* marié  
*Fonction :* Maître de Conférences – Hors Classe  
 Section 61 – Génie Informatique et Automatique  
*Adresse professionnelle :* Ecole Centrale de Lille  
 Cité Scientifique  
 BP 48  
 59651 VILLENEUVE D’ASCQ CEDEX  
*Téléphone :* +33 3.20.33.54.60 – +33 6.08.78.21.03  
*Fax :* +33 3.20.67.60.17  
*Mél :* [Michel.Bigand@ec-lille.fr](mailto:Michel.Bigand@ec-lille.fr)  
*Page personnelle :* <http://bigand.ec-lille.fr>



### Formation

19.04.1988 : Thèse de Doctorat de l’Université Paris 6 au Laboratoire de Mécanique et Technologie (L.M.T.) de Cachan.

Titre : Générateur Automatique de Géométries Admissibles en Optimisation de Forme

Mention : très honorable

Direction : Professeur Pierre LADEVEZE

Jury : Mr J.C. GENTINA Président  
 Mr R. CHAMBON Rapporteur  
 Mr S. TICHKIEWITCH Rapporteur  
 Mr M. HITTINGER Examineur  
 Mr J.C. LACHAT Examineur  
 Mr P. LADEVEZE Examineur

1980 : Agrégation de Mécanique.

1979 : Maîtrise de Technologie de la Construction à Paris 6.

1978 : Licence de Technologie de la Construction à Paris 6.

1977 : Admission au concours de l’E.N.S. Cachan.

### **Expérience professionnelle**

---

- 1998-// : Maître de Conférences en 61<sup>ème</sup> section à l'Ecole Centrale de Lille.
- 1993-1998 : Professeur agrégé à l'Ecole Centrale de Lille.
- 1989-1993 : Mise en disponibilité. Chef de Projet puis Directeur Technique d'agence chez Syllis (Société d'Ingénierie Informatique).
- 1988-1989 : Maître de conférences stagiaire à l'IDN (Ecole Centrale de Lille).
- 1983-1988 : Professeur agrégé à l'IDN (Ecole Centrale de Lille).
- 1981-1983 : Volontaire du service national actif au Maroc ; enseignant à l'ENSET de Rabat.

## Activités de recherche

### Cursus

Nos travaux ont débuté en 1988 par une thèse de doctorat de l'Université Paris 6 au Laboratoire de Mécanique et Technologie de Cachan (direction Professeur Pierre Ladevèze) au sein du groupe CAO (dirigé alors par Jean-Marc Fouet).

Ils ont été poursuivis à partir de 1993 dans l'équipe PFM (Production Flexible Manufacturière) du Professeur Jean-Claude Gentina, au LAIL (Laboratoire d'Automatique et d'Informatique Industrielle de Lille) devenu LAGIS, dirigé alors par le Professeur Marcel Staroswiecki.

Nos activités de recherche se déroulent depuis 2002 dans l'Equipe de Recherche en Génie Industriel de l'Ecole Centrale de Lille, sous la direction du Professeur Jean-Pierre Bourey ; cette équipe devrait être rattachée prochainement au Laboratoire Génie Industriel de Centrale Paris, dirigé par le Professeur Jean-Claude Bocquet.

### Thématique de recherche

Nos activités de recherche appartiennent à la thématique de l'ingénierie des systèmes de conception, et relèvent plus précisément de la problématique de l'intégration de modèles.

La figure 1 présente les thèmes de recherche auxquels nous avons contribué au cours de ces dernières années et les démarches d'intégration de modèles mises en œuvre. Ces thèmes sont détaillés dans la partie 2.

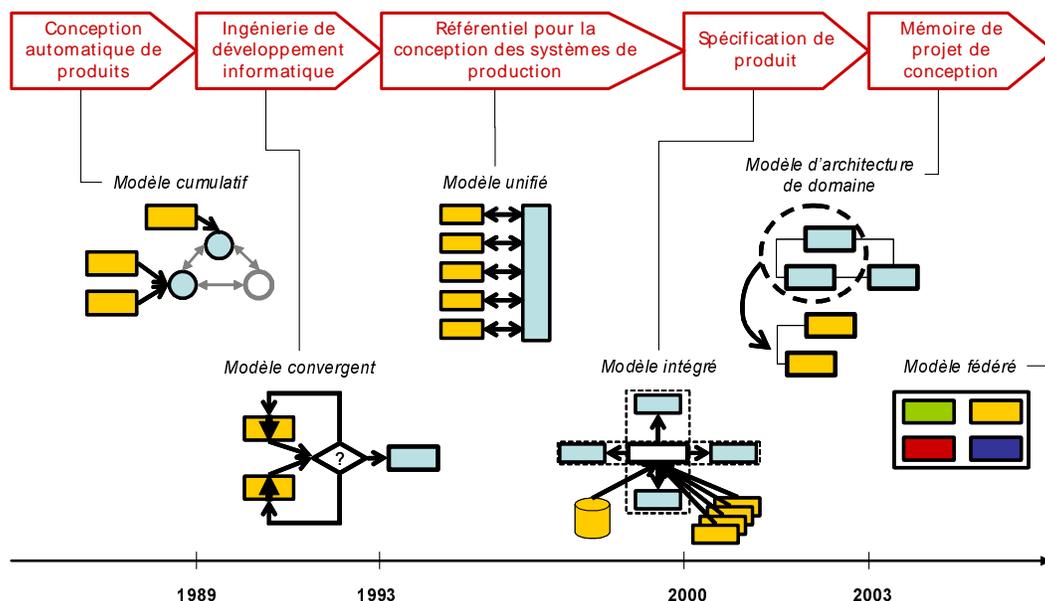


Figure 1. Chronologie de nos thèmes de recherche.

### Prime d'Encadrement Doctoral et de Recherche

Titulaire de la PEDR depuis septembre 2003.

## Collaboration internationale

Nous sommes impliqués dans le réseau d'excellence européen InterOp, coordonné par le Professeur Jean-Paul Bourrières, sur l'interopérabilité des applications<sup>2</sup>, et plus précisément dans le TG2 (Task Group 2 : MDI – Model Driven Interoperability) et dans le WP10 (Work Package 10 : Training activities by e-learning and Education Program on Interoperability).

Il s'agit (figure 2) de mettre au point une démarche globale permettant « d'automatiser » le développement d'applications informatiques à partir de modèles d'entreprise (CIM). Cela nécessite des transformations de modèles (MT) entre CIM (Computational Independant Models) et PIM (Platform Independant Models), puis entre PIM et PSM (Platform Specific Models), ainsi que des générateurs de code (CG). L'une des problématiques concerne la rétro-conception (LT : legacy transformation).

Dans la phase précédente de ce projet européen, nous avons contribué dans le cadre du WP7 (Method and specification to generate customised Enterprise Software) à l'état de l'art, notamment sur les PIM.

Le TG2 vise à proposer une méthode pour réaliser des applications d'entreprises interopérables (Interoperable Enterprise Software Applications) à partir des modèles d'entreprise (CIM) en utilisant une approche basée sur MDA (Model Driven Architecture™) de l'OMG, utilisant les ontologies. Notre contribution porte sur MDA et la transformation de modèle et concerne les deux tâches TG2.1 (Model establishment) et TG2.2 (Model Driven Interoperability).

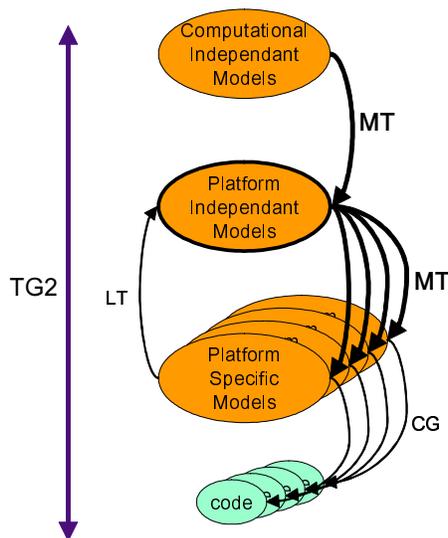


Figure 2. Positionnement (en gras) de notre contribution au réseau d'excellence InterOp.

Notre contribution, en collaboration avec l'Université Jaume I, porte sur l'utilisation d'UML 2.0 dans la modélisation des CIM. Les récents travaux du TG2 conduisent à modéliser le niveau CIM successivement à l'aide de GRAI [DOU 96] [MER 03] et d'UML [OMG 03], puis à extraire des modèles UML au niveau PIM en ne retenant que ce qui est à informatiser. Une correspondance entre les concepts GRAI et UML est en cours d'élaboration. La

<sup>2</sup> Interoperability Research for Networked Enterprises Applications and Software. Les travaux portent sur la modélisation d'entreprise, les architectures et les ontologies (<http://interop-noe.org/>), contrat n° IST-508 011

transformation des PIM en PSM fait appel à des démarches systématiques qu'il s'agit de formaliser, dans l'esprit MDA [KLE 03].

Une collaboration s'est instaurée entre Centrale Lille et l'Université Jaume I qui s'est concrétisé par l'accueil dans l'ERGI pendant plusieurs semaines de Me Reyes Grangel qui prépare actuellement sa thèse de Doctorat à l'Université Jaume I.

Enfin, notre intervention dans le WP10 se justifie par la volonté d'utiliser les technologies et méthodes du e-learning dans le cadre de l'enseignement, et à s'impliquer dans l'élaboration des programmes d'enseignement du master européen en cours de montage.

---

## Collaborations nationales

---

### 1) Co-animation du GT IS3C

Depuis juillet 2003, à la suite du travail effectué par les Professeurs Alain Bernard et Michel Tollenaere dans le Groupement de Recherche en Productique, nous assurons avec Mr Philippe Girard l'animation du Groupe de Travail IS3C (Ingénierie des Systèmes de Conception et Conduite du Cycle de vie produit) dans le cadre du GDR MACS (Modélisation Analyse Conduite des Systèmes dynamiques).

Ce groupe comporte plus de 180 inscrits, et se réunit environ tous les 3 mois avec en moyenne une trentaine de participants (voir le site du GDR MACS ainsi que le site spécifique au GT IS3C : <http://is3c.ec-lille.fr>). Nous l'avons structuré en quatre thèmes :

- Valeur, indicateurs, évaluation et décision (animé par Mr Bernard Yannou) ;
- Système d'information pour la conception et la modélisation des produits (animé par Mr Benoît Eynard) ;
- Innovation, expertises métier (animé par Mr Lionel Roucoules) ;
- Cycle de vie et développement durable produit & système (animé par le Professeur Jean-Claude Bocquet).

Plusieurs projets ont été lancés en vue de démultiplier l'action, notamment :

- Création d'une pépinière de doctorants échangeant sur les mêmes thèmes (responsable Mr Guillaume Ducelier) ;
- Lancement d'une étude de cas transversale sur le thème « conception et robustesse » (responsables Professeur Zohra Cherfi et Mr Lionel Roucoules) ;
- Réalisation d'un ouvrage en 2005 « Ingénierie de la conception et cycle de vie du produit » (responsable Mr Benoît Eynard) ;
- Organisation d'une école de printemps en juin 2006 (en association avec l'AIP-Priméca) sur le thème « évaluation et décision en conception » dans l'organisation de laquelle nous sommes impliqué (responsables Mr Bernard Yannou, Mr Franck Marle, Me Nadège Troussier) ;
- Réalisation d'un ouvrage sur ce même thème en 2006 (responsable Mr Bernard Yannou) ;

- Organisation de 4 sessions sur ce thème dans le cadre du Congrès International de Génie Industriel en juin 2005 (responsable Mr Bernard Yannou).

## 2) Laboratoire Génie Industriel

L'ERGI a dès l'origine été étroitement liée avec le LGI. Nous avons activement collaboré aux thématiques « Conception de produits, de systèmes et de services » et « Management des connaissances et des savoir-faire », notamment par l'implication dans l'organisation de journées de travail avec participations d'industriels.

Nous avons co-encadré une thèse (Mr Walid Ben Ahmed) avec Mr Mounib Mékhilef du LGI

## 3) LAGIS

Nos travaux sur le référentiel avaient été menés dans le cadre du LAIL (devenu LAGIS).

Nous co-encadrons une thèse (Mr Mohamed Ghazel) qui sera soutenue fin 2005 avec le Professeur Armand Toguyéni.

## Collaboration avec les entreprises

Plusieurs stages du DEA Génie des Systèmes Industriels ont été menés avec des partenaires industriels : EDF et PSA.

La thèse de Mr Walid Ben Ahmed a fait l'objet d'une convention CIFRE avec Renault.

Enfin, nous avons travaillé pendant 4 ans chez SYLIS ; deux élèves y ont effectué avec succès leur stage de master (spécialité « Systèmes d'Information et Ingénierie de la Conception » du Master Recherche mention Génie Industriel porté par Centrale Paris). L'un d'entre-eux poursuit par une thèse en convention CIFRE.

## Organisation de sessions

Nous avons activement participé à l'organisation de plusieurs sessions dans des congrès internationaux :

- « Systèmes de formation d'ingénieurs » (congrès CIFA'00) avec Mr Etienne Craye ; cette session a été à l'origine du Colloque « Question de pédagogie dans l'enseignement supérieur » de 2001, 2003 et 2005 ;
- "Making product and project design more coupled and reactive" (congrès IEEE-SMC'02) avec Mr Bernard Yannou ;
- "Teaching and training systems for undergraduate and / or graduate students" (congrès IEEE-SMC'02) avec Mr Etienne Craye ;
- "Object Oriented Approaches for the Production Systems Modeling" (congrès IEEE-SMC CESA'03) avec Mr Benoît Eynard. Cette session nous a permis, à Benoît Eynard et moi, de réaliser un numéro spécial "Object oriented modelling in design and production" pour la revue Computers & Industrial Engineering, en tant que "guest editor" ;

- “Engineering of design system and product life cycle management” (congrès IMACS’2005) avec Mr Philippe Girard.

Nous contribuons actuellement à l’organisation d’une session dans le cadre du track “Integrated Design of Product and Manufacturing Process” avec le Professeur Alain Bernard pour le congrès INCOM’2006.

### **Participation à des jurys**

---

Nous avons participé à des jurys de thèses :

- Mr Bertrand Huvenoit : « De la conception a l’implantation de la commande modulaire et hiérarchisée de systèmes flexibles de production manufacturière », octobre 1994 ;
- Mr Djibril Ndiaye : « Apport des technologies orientées objet dans l’étude et la mise en place d’un référentiel de conception pour les systèmes automatisés de production », septembre 2000 ;
- Mr Frédéric Tomala : « Proposition de modèles et méthodes pour l’aide à l’évaluation des performances d’une innovation dès sa conception », octobre 2002 ;
- Mr Walid Ben Ahmed : « SAFE-NEXT : une approche systémique pour l’extraction de connaissances de données. Application à la construction et à l’interprétation de scénarios d’accidents de la route », janvier 2005 ;

ainsi qu’au jury de DRT de Mr Thomas Gallet : « Méthode de déploiement d’un SGDT en ingénierie mécanique et aéronautique », en novembre 2003, en tant que rapporteur.

### **Lectures d’articles et d’ouvrages**

---

Nous avons été sollicité en tant que lecteur pour plusieurs congrès et ouvrages :

- 2000 : CIFA, IEEE-SMC
- 2001 : GI, ICCIE, AIP-Priméca, CPFES
- 2002 : CIFA, IEEE-SMC
- 2003 : CESA, ETFA, GI, CiI, CIRP, CITE, ASME, CPFES
- 2004 : Ouvrage « Modélisation et pilotage des systèmes de connaissances et de compétences dans les entreprises industrielles », ASME, C2EI, revue CFAO (numéro spécial GDT PLM), CESA, ouvrage « L’intelligence dans la conception de produits, services et systèmes »
- 2005 : Ouvrage « Ingénierie de la conception et cycle de vie du produit », CPFES, IMACS, ASME



## Publications et encadrements

### Bilan quantitatif depuis 1999 au 27 septembre 2005

<b><u>Publications</u></b>	
RI – Revues internationales avec comité de lecture <sup>3</sup>	7
RN – Revues nationales avec comité de lecture	4
OS – Contribution à des ouvrages de synthèse	3
CI – Conférences internationales avec actes	57
CN – Conférences nationales avec actes	8
DC – Diffusion de la connaissance	10
<b><u>Encadrements de thèse</u></b>	
Mr Djibril Ndiaye, soutenue le 18.09.2000	<b>% enc.</b> 50%
Mr Walid Ben Ahmed, soutenue le 17.01.2005	50%
Mr Mohamed Ghazel, soutenance prévue fin 2005	50%
Mr Hatem Ben Sta, soutenance prévue fin 2006	50%
<b><u>Encadrements de DEA et Master</u></b>	
1 étudiant	<b>% enc.</b> 30%
9 étudiants	50%

La figure 3 présente la répartition temporelle des principales publications.

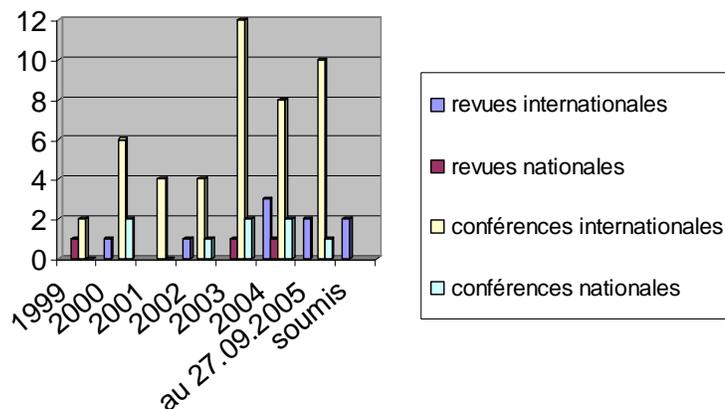


Figure 3. Principales publications.

<sup>3</sup> Dont 2 publications à caractère pédagogique portant sur la conception innovante et le pilotage de projet.

---

## Encadrements de thèses

---

### 1 – Mr Djibril Ndiaye

Apport des technologies orientées objet dans l'étude et la mise en place d'un référentiel de conception pour les systèmes automatisés de production.

Thèse de Doctorat de l'Université Lille 1, 18 septembre 2000

Jury : M. Bayart, J. Bézivin, F. Vernadat, J.P. Bourey, M. Bigand, D. Corbeel, J.C. Gentina, G. Goncalvès, M. Picavet.

Rapporteurs : F. Vernadat (U. de Metz) et J. Bézivin<sup>4</sup>

Encadrement : 50% (Professeur J.P. Bourey directeur de thèse 50%)

Situation actuelle du diplômé : Chef de Projet chez Bouyghes Télécom

### 2 – Mr Walid Ben Ahmed

SAFE-NEXT : une approche systémique pour l'extraction de connaissances de données. Application à la construction et à l'interprétation de scénarios d'accidents de la route.

Thèse de Doctorat de l'Ecole Centrale Paris, 17 janvier 2005

Jury : D. Coutellier, R. Dieng, C. Tahon, M. Tollenaere, C. Eckert, Y. Page, M. Mekhilef, M. Bigand.

Rapporteurs: D. Coutellier, R. Dieng, C. Tahon

Encadrement : 50% (HDR M. Mékhilef directeur de thèse 50%)

Situation actuelle du diplômé : Chef de Projet chez Renault (Direction de la Conception et des Technologies)

## Thèses en cours

### 3 – Mr Mohamed Ghazel

Automatisation intégrée des systèmes flexibles de production manufacturière.

Thèse de Doctorat de l'Université Lille 1, débutée en septembre 2002

En collaboration avec le LAGIS

Encadrement : 50% (Professeur A. Toguyéni directeur de thèse 50%)

### 4 – Mr Hatem Ben Sta

Apport des systèmes d'information pour la mémoire des projets de conception de produit.

Thèse de Doctorat de l'Ecole Centrale Paris, débutée en septembre 2002

Encadrement : 50% (Professeur J.P. Bourey directeur de thèse 50%)

---

<sup>4</sup> Le Professeur Jean Bézivin intervient également dans le projet InterOp.

---

## **Encadrements de DEA et de MASTER**

---

Seuls sont repris les encadrements de DEA et de Master depuis 2001.

### **1 – Mr Eric Boulanger**

Conception d'une méthode de développement de composants EJB et d'architectures informatiques basées sur UML

DEA Génie des Systèmes Industriels, Ecole Centrale Paris, septembre 2001

Entreprise Alpha CSP

Encadrement 50% (Professeur J.P. Bourey 50%)

### **2 – Mr Walid Ben Ahmed**

Etude de faisabilité de scénarios type d'accidents

DEA Génie des Systèmes Industriels, Ecole Centrale Paris, septembre 2001

Entreprise LAB Renault – PSA Peugeot Citroën

Encadrement 50% (HDR M. Mekhilef 50%)

### **3 – Mr Nicolas Renac**

Mise en place d'un système de communication relatif au projet

DEA Génie des Systèmes Industriels, Ecole Centrale Paris, septembre 2001

Entreprise France Télécom

Encadrement 50% (Professeur J.P. Bourey 50%)

### **4 – Mr Artur Tavarès**

Une démarche de l'éco-conception tenant compte de l'analyse du cycle de vie et de l'analyse de la valeur

DEA Génie des Systèmes Industriels, Ecole Centrale Paris, septembre 2002

Entreprise EDF

Encadrement 50% (Professeur P. Deshayes 50%)

### **5 – Mr Matthieu Tétaud**

Les facteurs de résistance à la mise en place de projet de gestion des connaissances dans les PME

DEA Génie des Systèmes Industriels, Ecole Centrale Paris, septembre 2002

Entreprise Plan Technologique de Navarre

Encadrement 50% (Me Caroline Verzat 50%)

### **6 – Me Eva Rakotomalala**

Spécification d'une architecture fonctionnelle générique d'un outil support aux environnements : référentiel métier, projet et retour d'expérience

DEA Génie des Systèmes Industriels, Ecole Centrale Paris, septembre 2002

Entreprise PSA Peugeot Citroën

Encadrement 50% (Professeur J.P. Bourey 50%)

**7 – Mr Walid Jouini**

Les méthodes et techniques d'extraction de connaissances de bases de données  
DEA Génie des Systèmes Industriels, Ecole Centrale Paris, septembre 2003  
Entreprise LAB Renault – PSA Peugeot Citroën  
Encadrement 30% (HDR M. Mekhilef 40%, Mr Walid Ben Ahmed 30%)

**8 – Me Sarah Pellegrini**

Mise en place d'outils et de procédures de travail pour un fonctionnement en mode collaboratif  
DEA Génie des Systèmes Industriels, Ecole Centrale Paris, septembre 2004  
Ministère de la Santé et de la Protection Sociale  
Encadrement 50% (Professeur J.P. Bourey 50%)

**9 – Mr Anis Ferchichi**

Evaluation des charges de projet informatique dans un cadre collaboratif  
Master Génie Industriel, Spécialité Systèmes d'Information et Ingénierie de la Conception, septembre 2005  
Entreprise Syllis  
Encadrement 50% (Professeur J.P. Bourey 50%)

**10 – Mr Dimitri Carcanis**

Modélisation des processus de projets de développements neufs et de la tierce maintenance applicative suivant la représentation CMMI  
Master Génie Industriel, Spécialité Systèmes d'Information et Ingénierie de la Conception, septembre 2005  
Entreprise Syllis  
Encadrement 50% (Professeur J.P. Bourey 50%)

**RI – Revues internationales avec comité de lecture**

- [RI/05/2] *“Models integration for the elaboration of a domain multi-view in accidentology”*  
BEN AHMED M., MEKHILEF M., BIGAND M., PAGE Y.  
Studies in Informatics and Control, n° #4/2005, à paraître en 2005.
- [RI/05/1] *“A semi-formal approach to build the Functional Graph of an Automated Production System for supervision purposes”*  
GHAZEL M., TOGUYENI A., BIGAND M.  
IJCIM, International Journal of Computer Integrated Manufacturing, France, June 2005.
- [RI/04/6] *“An UML approach for the metamodelling of Automated Production Systems for monitoring purpose”*  
GHAZEL M., TOGUYENI A., BIGAND M.  
Computer in Industry, Vol.55, n°3, pp283-299, December 2004.
- [RI/04/5] *“Integration of FMS performance evaluation models using patterns for an information system design”*  
BIGAND M., KORBAA O., BOUREY J.P.  
Computers & industrial Engineering (CIE), Vol.46, Issue 4, pp625-637, July 2004.
- [RI/04/3] *“A curriculum of value creation and management in engineering”*  
YANNOU B., BIGAND M.  
European Journal of Engineering Education, France, Vol.29-3, pp355-366, September 2004.
- [RI/02/2] *“Information system for production engineering: contribution to maintaining consistency of composite data using an object-oriented approach”*  
NDIAYE D., BIGAND M., CORBEEL D., BOUREY J.P.  
International Journal of Computer Integrated Manufacturing, IJCIM, Taylor & Francis Pub., Vol.15, n°3, pp233-241, April 2002.
- [RI/00/1] *“Project monitoring in a graduate engineering school”*  
BIGAND M., CRAYE E., DESHAYES P.  
IEEE/SMC Transactions, Part C: Applications and reviews, Vol.30, n°2, pp183-188, May 2000.

**RN – Revues nationales avec comité de lecture**

- [RN/05/1] *“Exploitation des contraintes temporelles pour le suivi temps-réel des SEDs”*  
GHAZEL M., BIGAND M., TOGUYENI A.  
Journal Européen des Systèmes Automatisés (JESA), France, Hermès, à paraître en 2005.
- [RN/04/1] *« SAF-Next : Une approche systémique pour l’intégration des connaissances du domaine dans la fouille de données complexes »*  
BEN AHMED W., MEKHILEF M., BIGAND M., PAGE Y.  
Revue des Nouvelles Technologies de l’Information, 2004.

- [RN/03/2] *"Patrons de conception UML appliqués aux modèles d'ordonnancement des systèmes automatisés de production"*  
BIGAND M., KORBAA O., BOUREY J.P.  
Journal Européen des Systèmes Automatisés (JESA), France, Hermès, Vol.37, n°7-8, pp974-997, 2003.
- [RN/99/9] *"Un référentiel pour les systèmes flexibles de production manufacturières"*  
BIGAND M., NDIAYE D., CORBEEL D., BOUREY J.P.  
Revue Internationale d'Ingénierie des systèmes de Production Mécanique, n°3, ppV-3-V-10, Décembre 1999.

---

## OS – Contribution à des ouvrages de synthèse

---

- [OS/YY/N] *« Conduite de projet d'innovation – vers une démarche intégrée »*  
NGASSA A., BIGAND M.  
chapitre de l'ouvrage « L'intelligence dans la conception de produits, services et systèmes », à paraître chez Hermès.
- [OS/YY/N] *« Professionnalisation et autonomie en école d'ingénieurs : un défi »*  
BIGAND M., CRAYE E., DESHAYES P., VERZAT C.  
chapitre de l'ouvrage « Professionnalisation des futurs cadre d'entreprise », à paraître chez De Boeck.
- [OS/04/1] *« Intégration de connaissances pour assurer la mémoire de projet »*  
BIGAND M., BOUREY J.P., MEKHILEF M., LONGUEVILLE B.  
chapitre de l'ouvrage « Gestion dynamique des connaissances industrielles », ISBN 2-7462-0952-7, sous la direction de B. Eynard, M. Lombard, N. Matta, J. Renaud, Hermès, série Informatique et systèmes d'information des Traités IC2, 2004.

---

## CI – Conférences internationales avec actes

---

- [CI/05/10] *"Contribution of value analysis to the evaluation of innovative product design solutions"*  
BIGAND M., YIM P.  
International Conference on Engineering Design<sup>5</sup>, ICED'05, Australie, Melbourne, Août 2005.
- [CI/05/9] *"Benefits of a project memory to engineering design"*  
MEKHILEF M., BIGAND M., BOUREY J.P.  
International Conference on Engineering Design, ICED'05, Australie, Melbourne, Août 2005.
- [CI/05/8] *"Implementation of an Engineering Design Project Memory"*  
MEKHILEF M., BOUREY J.P., BIGAND M.  
IMACS'05, France, Paris, juillet 2005.

---

<sup>5</sup> Cette conférence existe depuis 1981 ; elle est organisée sous le parrainage de la Design Society (société savante dans le domaine de la conception de produit ; <http://www.designsociety.org>).

- [CI/05/7] *"A monitoring approach for discrete events systems based on a time Petri net model"*  
GHAZEL M., TOGUYENI A., BIGAND M.  
IFAC'05, République Tchèque, Prague, Juillet 2005.
- [CI/05/6] *"A communication tool between Designers and Accidentologists for the development of safety systems"*  
BEN AHMED W., MEKHILEF M., BIGAND M., PAGE Y.  
Workshop on complexity in Design, Royaumes Unis, Glasgow, Mars 2005.
- [CI/05/5] *"Knowledge sharing between Designers and Accidentologists for the development of road safety systems"*  
BEN AHMED W., MEKHILEF M., BIGAND M., PAGE Y.  
DETC 2005, Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference, Californie, USA, Long Beach, Septembre 2005.
- [CI/05/4] *"Traçabilité des justifications de décisions en conception de produit"*  
BIGAND M., MEKHILEF M., BEN STA H., BOUREY J.P.  
6ème Congrès International de Génie Industriel, France, Besançon, Juin 2005.
- [CI/05/3] *"An approach of the project memory development using a diagram of conception"*  
BEN STA H., BIGAND M., GHEDIRA K., BOUREY J.P.  
CCCT'05, International Conference on computing, Communications and Control Technologies, Texas, USA, Austin, Juillet 2005.
- [CI/05/2] *"From ontology concepts to project memory"*  
BEN STA H., BIGAND M., GHEDIRA K., BOUREY J.P.  
FOMI 2005, Formal Ontology Meeting Industry, Italie, Vérone, Juin 2005.
- [CI/05/1] *"Cartography of Ontologies concepts"*  
BEN STA H., BEN SAID I., BIGAND M., GHEDIRA K., BOUREY J.P.  
ICEIS 2005, International Conference Enterprise and Information System, U.S.A., Miami, Mai 2005.
- [CI/04/16] *"A knowledge based system for change impact analysis"*  
BEN AHMED W., MEKHILEF M., BIGAND M., PAGE Y.  
DETC 2004, Design Engineering Technical Conferences and computers and Information in Engineering Conference, Utah, USA, Salt Lake City, Septembre 2004.
- [CI/04/3] *"Value creation and management in a graduate engineering school"*  
BIGAND M., YANNOU B., DAVY C.  
International Engineering and Product Design Education Conference, Pays-Bas, Delft, Septembre 2004.
- [CI/04/8] *"An alternative approach for the generation of innovative concept for product design"*  
PRAT C., NGASSA A., BIGAND M., YIM P.  
International Design Conference, DESIGN 2004, Croatie, Dubrovnik, Mai 2004.
- [CI/04/7] *« Gestion des vues dans un système d'information dédiée à la mémoire de projets de conception »*  
BIGAND M., MEKHILEF M., BEN STA H., BOUREY J.P.  
Conférence Internationale Francophone d'Automatique, CIFA 2004, Tunisie, Douz, Novembre 2004.

- [CI/04/5] *"An integrated framework for engineering change impact in safety systems design process"*  
BEN AHMED W., MEKHILEF M., BIGAND M.  
IDMME 2004, 5th International Conference on Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering, Angleterre, Bath, Avril 2004.
- [CI/04/4] *"An UML Modeling of Design Decision history"*  
MEKHILEF M., BIGAND M., BOUREY J.P., LONGUEVILLE B.  
Proceedings of DETC '04, ASME Design Engineering Technical Conferences and Design Automation Conference, USA, Salt Lake City, Utah, Octobre 2004.
- [CI/04/3] *"Information system supporting the functional specification in product design"*  
BIGAND M.  
International Federation of Automatic Control 11th IFAC, Symposium on Information control Problems in Manufacturing, INCOM, Brésil, Salvador, Avril 2004.
- [CI/04/2] *"Integrating formalized knowledge of experts improves their collaboration"*  
VERZAT C., BIGAND M., BOUREY J.P.  
COOP 04, 6th International Conference on the Design of Cooperative Systems, Hyères (France), Mai 2004.
- [CI/03/29] *"Development of knowledge based system to facilitate design of on-board car safety systems"*  
BEN AHMED W., MEKHILEF M., BIGAND M., PAGES Y.  
Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference, DETC 2003, Etats- Unis, Chicago, Illinois, Septembre 2003.
- [CI/03/28] *"A UML Modeling of an Architecture for a Knowledge Documentation"*  
MEKHILEF M., BOUREY J.P., BIGAND M.  
International Conference on Engineering Design, ICED'03, Suède, Stockholm, Août 2003.
- [CI/03/17] *"A new approach for the generation on innovative concept for product design"*  
NGASSA A., BIGAND M., YIM P.  
ICED'03, Stockholm (Suède), Août 2003.
- [CI/03/11] *"Does the integration of formalizable knowledge improve the collaboration of experts?"*  
VERZAT C., BIGAND M., BOUREY J.P.  
IAMOT 2003, the 12th International Conference on Management of Technology, From information to knowledge to competencies: key success factors for innovation and sustainable development, Nancy (France), Mai 2003.
- [CI/03/10] *"Decision management system in a design process", Proceedings of 10th ISPE International Conference on Concurrent Engineering : Research and Applications*  
BIGAND M., NGASSA A., BOUREY J.P.  
Enhanced Interoperable Systems, Concurrent Engineering - The vision for the future generation in research and applications, ISBN : 90 5809 622 X, Portugal, Swets & Zeitlinger B.V., Jardim-Goncalves, Chaa & Steiger-Garçao Eds, Ile Madère, Vol.1, Chap.7, pp795-800, Juillet 2003.

- [CI/03/9] *"UML modeling approach to build an information system for Automated Production Systems"*  
GHAZEL M., TOGUYENI A., BIGAND M.  
10th ISPE International Conference on Concurrent Engineering : Research and Applications, Portugal, Ile Madère, Juillet 2003.
- [CI/03/8] *"Integration of creativity methods in the early phases of a product design process"*  
NGASSA A., BIGAND M., YIM P.  
2003 International CIRP Design Seminar, France, Grenoble, Mai 2003.
- [CI/03/7] *"An UML-based approach to obtain the Functional Graph of existing Automated Production Systems"*  
GHAZEL M., BIGAND M., TOGUYENI A.  
CESA 2003, The Multiconference on "Computational Engineering in Systems Applications", France, Lille, Juillet 2003.
- [CI/03/6] *"An UML Meta-model for the functional modelling of existing automated production systems by analytical approach"*  
GHAZEL M., TOGUYENI A., BIGAND M.  
IEPM'03, International Conference of Industrial Engineering and Production Management, Portugal, Porto, Mai 2003.
- [CI/03/5] *"Proposal of an approach to preserve the decisions and alternative solutions on the design process"<sup>6</sup>*  
NGASSA A., BOUREY J.P., BIGAND M.  
IAMOT 2003, the 12th International Conference on Management of Technology, From information to knowledge to competencies: key success factors for innovation and sustainable development, France, Nancy, Mai 2003.
- [CI/03/4] *"Expert knowledge incorporation to improve knowledge required in a design process"*  
BEN AHMED W., BIGAND M., MEKHILEF M., PAGES Y.  
Proceeding of 2003 ASME, Design Engineering Technical Conferences, Illinois (USA), Chicago.
- [CI/03/3] *"Ordonnancement des tâches dans un contexte répétitif"*  
KORBAA O., BIGAND M., GENTINA J.C.  
GI 2003, 5th International Industrial Engineering Conference, Industrial Engineering and the new global challenges, Canada, Quebec, Octobre 2003.
- [CI/02/17] *"Apport d'Objet Constraint Language pour la réalisation d'un outil de conception des systèmes automatisés de production"*  
BIGAND M., KORBAA O., BOUREY J.P.  
Conférence Internationale Francophone d'Automatique (CIFA), Nantes (France), pp722-727, 2002.
- [CI/02/8] *"Approche systémique d'élaboration d'un modèle multi-vues: cas de l'accident de la route"*  
BEN AHMED W., MEKHILEF M., BOQUET J.C., BIGAND M.  
IDMME'2002, 4th International Conference on Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering, Clermont Ferrand,(France), Mai 2002.

---

<sup>6</sup> Sélectionné pour parution chez Elsevier.

- [CI/02/7] *"Supervision of projects in an organization"*  
STAL-LE CARDINAL J., BIGAND M.  
IEEE/SMC'02 Int. Conf. on «Systems, Man and Cybernetics", Hammamet (Tunisie), Octobre 2002.
- [CI/02/3] *"An UML based approach for interfacing expert models"*  
BIGAND M., KORBAA O., BOUREY J.P.  
IEEE/SMC'02 Int. Conf. on «Systems, Man and Cybernetics", Hammamet (Tunisie), Octobre 2002.
- [CI/02/1] *"Modélisation de produit et intégration dans un référentiel de production"*  
BIGAND M., BOUREY J.P.  
IDMME'2002, 4th International Conference on Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering, Clermont-Ferrand (France), pp136, Mai 2002.
- [CI/01/35] *"Integration of FMS performance evaluation models using patterns for an information system design"*  
NDIAYE D., BIGAND M., KORBAA O., BOUREY J.P.  
Int. Conf. on Computers & Industrial Engineering,, Montréal (Canada), pp196-202, Novembre 2001.
- [CI/01/9] *"Using patterns for the integration of viewpoints in an information system: application to the control modelling of production systems"*  
NDIAYE D., BIGAND M., BOUREY J.P.  
IEPM'01 International Conf. on Industrial Engineering and Production Management, Quebec(Canada), Août 2001.
- [CI/01/8] *"Démarche non prescriptive d'intégration de modèles suivant une approche objet : Application à la planification/ordonnancement d'un système de production"*  
NDIAYE D., BIGAND M., CORBEEL D., BOUREY J.P.  
MOSIM'01, troisième conférence francophone de MODélisation et SIMulation, Troyes(France), Vol.1, pp263-269, Avril 2001.
- [CI/01/6] *"Conception de systèmes d'information pour les systèmes de production : métamodélisation pour l'ordonnancement"*  
NDIAYE D., BIGAND M., CORBEEL D., BOUREY J.P.  
7ème colloque sur la Conception Mécanique Intégrée, AIP-PRIMECA, La Plagne (France), pp42-49, Avril 2001.
- [CI/00/13] *"La pédagogie par projet, vecteur de la professionnalisation des élève- ingénieurs : exemple de l'école Centrale de Lille"*  
BIGAND M., CRAYE E., DESHAYES P.  
CIFA'2000, Conférence Internationale Francophone d'Automatique, Lille, (France), Juillet 2000.
- [CI/00/9] *"Reuse and patterns for viewpoints integration of Automated Production Systems"*  
NDIAYE D., BIGAND M., CORBEEL D., BOUREY J.P.  
CE'2000 7th ISPE International Conference On Concurrent Engineering, Lyon (France), Juillet 2000.
- [CI/00/8] *"Utilisation de patterns pour le modèle de commande des systèmes de production"*  
NDIAYE D., BIGAND M., CORBEEL D., BOUREY J.P.  
CIFA'2000, Conférence Internationale Francophone d'Automatique, Lille (France), pp133-138, Juillet 2000.

- [CI/00/7] *"Démarche ascendante pour la conception des systèmes de production"*  
NDIAYE D., BIGAND M., CORBEEL D., BOUREY J.P.  
IDMME'2000, 3rd International Conference on Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering, Montreal (Canada), Mai 2000.
- [CI/00/1] *"Education to socio-economic system engineering with modelling and simulation using quasi bond graphs and transformation system dynamics"*  
LEFEVRE J., DESHAYES P., BIGAND M., CRAYE E., BOTTEMANNE I., CROES M.  
3rd Working Conference on Engineering Education for the 21st Century, Sheffield Hallam University, Avril 2000.
- [CI/99/16] *"Information system for production engineering : contribution to maintaining consistency for composite data using object approach"*  
NDIAYE D., BIGAND M., CORBEEL D., BOUREY J.P.  
IEPM'99 International Conf. on Industrial Engineering and Production Management, Glasgow (Ecosse), pp191-199, Juillet 1999.
- [CI/99/15] *"Contribution to viewpoint modelling using an object approach in an information system for production engineering"*  
BIGAND M., NDIAYE D., CORBEEL D., BOUREY J.P.  
WMC'99, International symposium on manufacturing systems (ISM'99), Durham (U.K.), pp246-251, Septembre 1999.
- [CI/98/58] *"Integration of viewpoints by using an object oriented approach"*  
BIGAND M., CORBEEL D., BOUREY J.P.  
IFAC/IFIP/IFORS/IMACS INCOM'98 on «Information Control Problems in Manufacturing Technology», Nancy & Metz (France), Vol.2, pp523-528, Juin 1998.
- [CI/98/57] *"Complex compound objects and relationships : their use in the design of information resource dictionary system for flexible manufacturing systems"*  
BIGAND M., BOUREY J.P., CORBEEL D.  
ISIAC'98, Second International Symposium on Intelligent Automation and Control, Anchorage (Alaska, U.S.A.), Mai 1998.
- [CI/98/56] *"Extensions of object formalism for representing the dynamics : application to the integration of viewpoints in the design of a production system"*  
BIGAND M., CORBEEL D., NDIAYE D., BOUREY J.P.  
IDMME'98, Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering, Compiègne (France), Vol.4, pp1169-1178, Mai 1998.  
**Article sélectionné pour publication** dans *"Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering '98", Proceeding of the 2nd IDMME Conference held in Compiègne, 27-29 May 1998*, ISBN: 0-7923-6024-9, Kluwer Academic publishers, Chap.9, pp627-634.
- [CI/98/15] *"Proposal of unified modelling language extensions for the specification of constraints on linked objects"*  
BIGAND M., CORBEEL D., BOUREY J.P.  
CESA'98, Conf. IMACS-IEEE on «Computational Engineering in Systems Applications», Hammamet (Tunisie), Vol.3, pp146-151, Avril 1998.

- [CI/97/42] *"From evaluation to piloting of project-activity at Ecole Centrale de Lille"*  
BIGAND M., CRAYE E., DESHAYES P.  
IEEE/SMC'97 Int. Conf. on «Systems, Man and Cybernetics», Orlando (U.S.A.),  
Vol.3, pp2059-2062, Octobre 1997.
- [CI/97/12] *"The design of flexible manufacturing systems by using a knowledge based system"*  
BIGAND M., CORBEEL D., BOUREY J.P.  
15th IMACS World Congress on «Scientific Computation, Modelling and  
Applied Mathematics», Berlin (Allemagne), Vol.6, pp541-546, Août 1997.
- [CI/97/8] *"Modélisation de la dynamique dans la conception des systèmes de production"*  
BIGAND M., CORBEEL D., BOUREY J.P.  
MOSIM'97, AFCET / FRANCOSIM / SCS, 1ere Conférence Francophone de  
"Modélisation et Simulation des Systèmes de Production et de Logistique", Rouen  
(France), pp183-190, Juin 1997.
- [CI/96/35] *"A generalized object approach for the design of flexible manufacturing systems"*  
BIGAND M., BOUREY J.P., CORBEEL D., MAIK J.P.  
CESA'96, Conf. IMACS-IEEE on «Computational Engineering in  
Systems Applications», Symp. on «Discrete Events and Manufacturing  
Systems», Session «Object Oriented Approaches for the Organization of  
Production Systems Design», Lille (France), pp352-357, Juillet 1996.
- [CI/96/29] *"Un projet de 16 heures comme conclusion à l'enseignement de la CMAO"*  
DESPLANQUES Y., BIGAND M., DEGALLAIX G.  
Journée PRIMECA sur l'enseignement de la CMAO, Cachan (France), Janvier 1996.
- [CI/96/19] *"Référentiel CFAO dans une démarche d'ingénierie concourante"*  
BIGAND M., BOUREY J.P., CORBEEL D., MAIK J.P.  
IDMME'96, 1st Int. Conf., Nantes (France), pp807-816, Avril 1996.
- [CI/95/5] *"Initiation a la démarche d'ingénierie concourante en conception de produits  
industriels"*  
BIGAND M., DESPLANQUES Y.  
4th Conf. on «Mechanical Engineering Design», La Plagne (France), pp35-42,  
Avril 1995.

---

#### CN – Conférences nationales avec actes

---

- [CN/04/X] *"Exploitation des contraintes temporelles pour le suivi temps-réel des SEDs"*  
GHAZEL M., BIGAND M., TOGUYENI A.K.A.  
MSR'05, Grenoble.
- [CN/04/3] *"Intégration des connaissances du domaine pour la fouille de données"*  
BEN AHMED W., MEKHILEF M., BIGAND M., PAGES Y.  
Journées francophones d'Extraction et de Gestion de Connaissances, EGC 2004,  
France, Clermont-Ferrand, Janvier 2004.

- [CN/04/2] *"Ingénieur Manager Entrepreneur: une formation d'ingénieur centrée sur l'entrepreneuriat"*  
DANGOUMAU N., DANIEL P., BIGAND M.  
3ème Congrès de l'Académie de l'Entrepreneuriat, Itinéraire d'Entrepreneurs, France, Lyon, Avril 2004.
- [CN/03/6] *"MRC: un Modèle de Représentation des Connaissances en accidentologie"*  
BEN AHMED W., BIGAND M., MEKHILEF M., PAGES Y.  
14èmes journées francophones d'Ingénierie des Connaissances, France, Laval, Juillet 2003.
- [CN/03/2] *"Proposition pour une démarche intégrée de conduite de projet d'innovation"*  
NGASSA A., BIGAND M.  
1er colloque des Laboratoires Centrale de Génie Industriel - Problématiques d'innovation et modélisation des objets, processus et projets, en concept, Lyon Ecully, (France), Avril 2002.
- [CN/02/1] *"L'intégration des connaissances formalisables fait -elle avancer la coopération entre experts?"*  
BOUREY J.P., BIGAND M., VERZAT C.  
GCC GI 2002, Gestion des connaissances et des compétences en génie industriel, Vers l'articulation entre Compétences et Connaissances, Nantes, Décembre 2002.
- [CN/00/4] *"Mise en oeuvre d'une réforme pédagogique favorisant la culture de l'autonomie des élèves ingénieurs à l'Ecole Centrale de Lille"*  
BIGAND M., CRAYE E., DESHAYES P.  
Colloque INSA/UTM, Professionnalisation des futurs cadres de l'Entreprise, France, Toulouse, Mars 2000.

## **DC – Diffusion de la connaissance**

---

- [DC/03/1] *"L'Iteem et la pédagogie de la formation Ingénieur Manager Entrepreneur"*  
BIGAND M.  
Le développement de l'esprit d'entreprendre et la pédagogie de l'entrepreneuriat, ISET Radès, Tunisie, 19-20 novembre 2004.
- [DC/03/1] *"Une nouvelle formation : Ingénieur Manager Entrepreneur"*  
BIGAND M.  
Journée CEFI, Ecole sur les collaborations entre écoles, France, Paris, Février 2003.
- [DC/02/4] *"Le projet de tronc commun à Centrale Lille"*  
BIGAND M.  
FORMASUP, conférence invitée, France, Février 2002.
- [DC/01/2] *"Dispositif qualité dans l'accompagnement des projets"*  
BIGAND M.  
Colloque sur le management de la Qualité, Tunisie, Tunis, Mai 2001.
- [DC/00/3] *"Le défi de la qualité pour votre entreprise"*  
BIGAND M.  
Ecole sur les Procédés Industriels : de la gestion à la conduite, ISET, Radès (Tunisie), Avril 2000.

- [DC/00/2] *"Projet Université/Industrie"*  
BIGAND M.  
Ecole sur les Procédés Industriels : de la gestion à la conduite, ISET, Radès (Tunisie),  
Avril 2000.
- [DC/00/1] *"Mise en oeuvre d'une réforme pédagogique favorisant la culture de l'autonomie des  
élèves ingénieurs à l'Ecole Centrale de Lille"*  
BIGAND M., CRAYE E., DESHAYES P.  
Colloque Professionnalisation, INSAT, Toulouse (France), Mars 2000.
- [DC/99/3] *"Pilote et évaluation de l'Activité-Projet à l'Ecole Centrale de Lille"*  
BIGAND M., CRAYE E., DESHAYES P.  
Journée CEFI Ecoles sur le développement des pédagogies par projet dans les  
formations d'ingénieurs, Paris (France), Janvier 1999.
- [DC/99/2] *"Contributions a la définition d'un référentiel pour l'analyse, la conception et  
l'exploitation des systèmes de production"*  
BIGAND M., BOUREY J.P.  
Réunion ComPil/SPSF du GRP, Nîmes (France), Juin 1999.
- [DC/96/2] *"Un modèle de données pivot pour le référentiel des systèmes flexibles de production  
manufacturière"*  
MAIK J.P., CORBEEL D., BIGAND M., BOUREY J.P.  
Journée PRIMECA, Nancy (France), Mai 1996.

## Activités pédagogiques et d'enseignement

Depuis 1981, nos enseignements ont porté sur deux domaines :

- le génie informatique : les cours dispensés visent l'acquisition des concepts de base de l'informatique ainsi que de méthodes de conception de systèmes d'information ;
- l'ingénierie de conception et le management de projet : un cours de mécanique générale complet a été monté, et nous avons enseigné l'analyse et la conception de systèmes mécaniques ; nous avons également mis au point une démarche de conduite de projet.

Ces enseignements concernent l'ENSET de Rabat, la formation Ingénieur Manager Entrepreneur de l'Iteem<sup>7</sup> ainsi que l'Ig2i (formations d'ingénieur post-baccalauréat), la formation d'ingénieur de l'Ecole Centrale de Lille, le DEA GSI puis le Master Génie Industriel de Centrale Paris (spécialité Systèmes d'Information et Ingénierie de la Conception) et la formation continue.

Notre charge totale annuelle est de l'ordre de 230h équivalent TD.

### Responsabilités pédagogiques

---

Chronologiquement, nous avons assumé les responsabilités suivantes :

- Rénovation des enseignements de construction mécanique à l'idn (devenue Centrale Lille) avec le Professeur G. Degallaix ;
- Lancement de la CAO à l'idn avec le Professeur G. Degallaix ;
- Coordination de la réforme de la 3<sup>ème</sup> année Génie Mécanique ;
- Mise en place du projet informatique de 2<sup>ème</sup> année à Centrale Lille et d'une méthodologie spécifique avec Mr D. Corbeel ;
- Mise au point d'une démarche de conduite de projet (site web) pour l'Activité-Projet de 1<sup>ère</sup> et 2<sup>ème</sup> année à Centrale Lille ;
- Animation de l'équipe de pilotage (passée 5 à 20 enseignants) pour l'Activité-Projet dont la mission est de diffuser la culture du management de projet chez les enseignants et à coordonner l'ensemble des 90 projets menés par les élèves ;
- Coordination du programme de la formation Ingénieur Manager Entrepreneur de l'Iteem (qui a reçu l'avis favorable de la CTI) ;
- Coordination du programme de la spécialité « Conception de Systèmes d'Information et Modélisation d'Entreprise » du DEA GSI de Centrale Paris ;
- Management de la réflexion sur le « projet individuel » de 3<sup>ème</sup> année à Centrale Lille (appelé Impact) ;
- Diffusion de méthodes pédagogiques par des publications et en participant au comité de programme du colloque « Question de pédagogie dans l'enseignement supérieur » en 2001, 2003 et 2005.

---

<sup>7</sup> Institut Technologique Européen d'Entrepreneuriat et de Management (<http://iteem.ec-lille.fr>)

---

**Descriptif des enseignements**

---

**Intitulé du cours : Modélisation des systèmes d'information**

*Public :* Master Recherche mention Génie Industriel  
Spécialité Systèmes d'Information et Ingénierie de la Conception

*Volume :* 15h

*Descriptif :* Langage UML (Unified Modeling Language)

*Divers :* Nouveau cours

**Intitulé du cours : Spécification des systèmes d'information**

*Public :* 3<sup>ème</sup> année Centrale Lille – Génie des Organisations

*Volume :* 15h

*Descriptif :* Approche orientée objet, initiation au langage UML, AGL Objecteering

*Divers :* Nouveau cours

**Intitulé du cours : Informatique – Notions de base**

*Public :* 1<sup>ère</sup> année Iteem

*Volume :* 40h

*Descriptif :* Langage Ada

*Divers :* Cours réalisé avec Mrs Bourey, Mesghouni, Vanheeghe, Yim

**Intitulé du cours : Modèle entité-association et base de données relationnelle**

*Public :* 1<sup>ère</sup> année Iteem

*Volume :* 20h

*Descriptif :* Oracle, SQL

*Divers :* Cours réalisé avec Me Dangoumau, Mrs Bourey, Vanheeghe

**Intitulé du cours : Gestion de projets informatiques**

*Public :* 3<sup>ème</sup> année Centrale Lille – Informatique de Gestion

*Volume :* 20h

*Descriptif :* Génie informatique, management de projet, estimation des charges

*Divers :* Nouveau cours

**Intitulé du cours : Méthodes et outils**

*Public :* 3<sup>ème</sup> année Centrale Lille – Génie Informatique

*Volume :* 10h

*Descriptif :* Modèles dynamiques, AGL PowerAMC

*Divers :* Nouveau cours

**Intitulé du cours : Eléments de programmation**

*Public :* 1<sup>ère</sup> année Centrale Lille

*Volume :* 40h

*Descriptif :* Programmation structurée, langages de 3<sup>ème</sup> génération

*Divers :* Cours réalisé par 8 intervenants sous la coordination de Mr Corbeel

**Intitulé du cours : Projet informatique**

*Public :* 2<sup>ème</sup> année Centrale Lille

*Volume :* 40h

*Descriptif :* Génie informatique, modèle entité-association, SGBD

*Divers :* Elaboration de la méthodologie de développement

**Intitulé du cours : Interfaces graphiques**

*Public :* 3<sup>ème</sup> année Centrale Lille – Génie Informatique  
*Volume :* 16h  
*Descriptif :* Utilisation de X Window avec Ada  
*Divers :* Nouveau cours

**Intitulé du cours : Langage et infographie**

*Public :* 3<sup>ème</sup> année Centrale Lille – Génie Mécanique  
*Volume :* 20h  
*Descriptif :* Utilisation de GKS avec Fortran  
*Divers :* Cours réalisé avec Mr Craye

**Intitulé du cours : Développement de projet informatique**

*Public :* Formation Continue  
*Volume :* 16h  
*Descriptif :* Génie info., modèle entité-association, planification, qualité des logiciels  
*Divers :* Nouveau cours

**Intitulé du cours : Qualité**

*Public :* 3<sup>ème</sup> année Centrale Lille – Production Industrielle et 5<sup>ème</sup> année IG2I  
*Volume :* 15h  
*Descriptif :* Concepts, démarches et principaux outils  
*Divers :* Nouveau cours

**Intitulé du cours : Management et pilotage de projet**

*Public :* 1<sup>ère</sup> année Centrale Lille  
*Volume :* 30h  
*Descriptif :* Concepts, démarches et principaux outils  
*Divers :* Nouveau cours ; mise au point d'une démarche méthodologique

**Intitulé du cours : Analyse de la valeur**

*Public :* 1<sup>ère</sup> année Iteem  
*Volume :* 15h  
*Descriptif :* Démarche adaptée de la norme et de la méthode APTE  
*Divers :* Cours réalisé avec Me Davy et Mr Yannou

**Intitulé du cours : Conception de produit industriel**

*Public :* 3<sup>ème</sup> année Centrale Lille – Génie Mécanique  
*Volume :* 16h  
*Descriptif :* Rétro-conception de produit, analyse de la valeur, ingénierie concurrente  
*Divers :* Cours réalisé avec Mr Desplanques

**Intitulé du cours : Construction mécanique**

*Public :* 1<sup>ère</sup> année Centrale Lille  
*Volume :* 40h  
*Descriptif :* Technologie de la construction et dessin industriel  
*Divers :* Cours réalisé avec Mr Degallaix

**Intitulé du cours : Transmission de puissance**

*Public :* 2<sup>ème</sup> année Centrale Lille  
*Volume :* 20h  
*Descriptif :* Engrenages, poulies-courroie, etc.  
*Divers :* Cours réalisé avec Mrs Degallaix et Théron

**Intitulé du cours : Théorie des mécanismes**

*Public :* 1<sup>ère</sup> année Centrale Lille  
*Volume :* 20h  
*Descriptif :* Modélisation des liaisons et étude des propriétés des mécanismes  
*Divers :* Cours réalisé avec Mr Degallaix

**Intitulé du cours : Conception assistée par ordinateur**

*Public :* 1<sup>ère</sup> et 2<sup>ème</sup> année Centrale Lille  
*Volume :* 30h  
*Descriptif :* Démarche de conception de produits mécaniques utilisant la CAO  
*Divers :* Cours réalisé avec Mrs Barbet et Degallaix

**Intitulé du cours : Mécanismes hydrauliques**

*Public :* 3<sup>ème</sup> année Centrale Lille – Génie Mécanique  
*Volume :* 24h  
*Descriptif :* Circuits, pompes, moteurs et autres actionneurs  
*Divers :* Nouveau cours

**Intitulé du cours : Décodage de dessin d'ensemble**

*Public :* 1<sup>ère</sup> année IG2I  
*Volume :* 16h  
*Descriptif :* Modélisation des liaisons, compréhension et schématisation en mécanique  
*Divers :* Nouveau cours

**Intitulé du cours : Mécanique générale**

*Public :* 1<sup>ère</sup> et 2<sup>nde</sup> année ENSET de Rabat (Maroc)  
*Volume :* 120h  
*Descriptif :* Statique, cinématique, dynamique du solide  
*Divers :* Nouveau cours

## **Responsabilités collectives et administratives**

Nous avons été chargé par la Direction de Centrale Lille de la responsabilité du Département Ingénierie (chargé de l'Activité-Projet) entre septembre 1994 et septembre 2002, et depuis de la direction du Département Iteem.

A ce titre, nous sommes membre du Comité de Direction de Centrale Lille et membre invité au Conseil des Etudes et de la Vie Universitaire, ainsi qu'au Conseil d'Administration.

Nous avons été élu en février 2004 à la Commission de Spécialistes d'Etablissement de Centrale Lille.



---

## **Deuxième partie**

### **Recherche**



## Synthèse des activités de recherche

### 1. Introduction

La conception de produit et/ou de service constitue un enjeu majeur pour la performance des entreprises.

L'ingénierie des systèmes de conception peut être définie comme une démarche méthodologique permettant de concevoir ou d'améliorer de tels systèmes [BAC 04].

Nos travaux portent sur les systèmes d'information supports de la conception ; à ce titre, ils appartiennent à la thématique de l'ingénierie des systèmes de conception.

Un système de conception fait intervenir de nombreux acteurs et outils (figure 4). Il inclut des acteurs internes (Aix) qui interviennent directement dans la conception du produit, les outils internes (Oix) qu'ils utilisent ainsi que le produit lui-même. La frontière étant ainsi définie, ce système effectue des échanges avec son environnement constitué notamment d'acteurs externes (Aex) (clients, économistes, fabricants...) et d'outils externes (Oex).

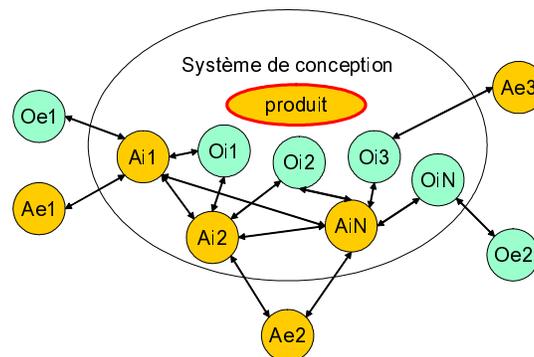


Figure 4. *Le système de conception : un système complexe.*

L'intervention d'acteurs dont le comportement est par nature imprévisible donne à un tel système un caractère complexe. Le système de conception s'appuie sur un ensemble de connaissances formalisées dans les différents outils ou que possèdent implicitement les acteurs.

Les systèmes d'information manipulent des modèles (modèles de produit, de connaissance...) souvent spécifiques à un domaine particulier. L'une des voies d'amélioration des systèmes de conception repose sur une meilleure intégration de ces modèles.

Notre contribution porte sur des concepts, démarches, méthodes et outils (évaluables, contrôlables et reproductibles) permettant d'intégrer les modèles de plusieurs acteurs.

Ces travaux sont par nature pluridisciplinaires et portent sur cinq thèmes développés dans les sections suivantes. Chacun de ces thèmes s'appuie sur une méthode particulière d'intégration de modèles.



---

## 2. Conception automatique de produits

---

### 2.1. Contexte

Ces travaux de recherche menés au cours de notre thèse de Doctorat [BIG 88] ont porté sur l'utilisation de l'intelligence artificielle, et plus précisément des systèmes experts, au service de l'automatisation de la conception dans le domaine de la construction et de la fabrication mécanique.

La problématique consiste à générer de manière automatique l'ensemble des formes géométriques admissibles à partir du cahier des charges d'une pièce mécanique, en tenant compte des contraintes de conception et de fabrication.

### 2.2. Contribution

L'originalité de la démarche réside dans le fait que toutes les solutions a priori possibles sont étudiées, ce qui tranche avec les habitudes de conception où seule une forme choisie arbitrairement par le concepteur est dimensionnée, vérifiée et (parfois) optimisée. L'optimisation automatique, à l'aide d'un système tel que « Copest » [TIC 84], de l'ensemble des formes admissibles ainsi obtenues, permet alors d'obtenir LA solution optimale.

Nous avons ainsi développé le système « Proform » qui constitue une ossature capable de structurer les modèles de connaissance sur un domaine de conception et de les utiliser. Ce système s'adresse donc à deux types d'utilisateurs :

- D'une part les experts qui entrent leur modèles de connaissance dans le système ;
- D'autre part les utilisateurs qui ont à résoudre un problème de conception, et qui vont utiliser les connaissances des experts.

Proform est constitué essentiellement de 7 modules (6 systèmes experts écrits en Prolog et 1 module en langage procédural) gérés par un module d'aiguillage (écrit en langage de commande) (figure 5) :

- Module « concept » : Ce système expert permet de spécifier efficacement le problème de conception. Les connaissances sont formalisées sous forme de règles de production écrites en langage « quasi-naturel » ; elles permettent, à partir d'un nom de pièce, de déterminer l'ensemble des fonctions qu'elle doit assurer. Une hiérarchie des concepts basée sur l'héritage permet de mieux structurer les connaissances.
- Module « solution » : Ce système expert permet de sélectionner parmi les solutions potentielles celles qui remplissent les conditions technologiques d'emploi, et ce pour chacune des fonctions à assurer. Ce module gère le dialogue de manière à minimiser les questions à poser à l'utilisateur. Il fournit les solutions globales, c'est-à-dire l'ensemble des combinaisons possibles de solutions locales.
- Module « construction » : Une même solution technologique peut donner lieu à différentes solutions constructives. Ce système expert contient la connaissance qui décrit ces solutions constructives. Une structure arborescente d'objets a été proposée : solution, entité technologique, entité géométrique, paramètre, valeur ; la création d'un objet racine (solution) génère celle de ses fils. Il n'est toutefois pas question de contraindre arbitrairement une valeur de paramètre : celle-ci est spécifiée par un intervalle si sa valeur n'est pas imposée par des considérations

technologiques ou de production. Des contraintes entre les paramètres sont spécifiées automatiquement pour tenir compte de l'interdépendance des objets créés. Ainsi, nous avons proposé un ensemble de relations (au niveau paramètre) ainsi que des méga-relations (au niveau géométrique), afin d'accroître la rapidité et la lisibilité de l'expression des liens entre objets.

- Module « association » : Ce système expert sert à combiner intelligemment les solutions locales constituant une solution globale. Des règles expertes vont permettre de générer de nouvelles contraintes de dimensionnement et de positionnement des objets les uns par rapport aux autres, qui se traduisent par des relations entre paramètres. Il s'agit ainsi « d'accumuler les contraintes pour réduire l'espace des solutions » [HAR 85].
- Module « calculs » : Ce module est un programme Pascal (du fait de la non adaptation de la version de Prolog utilisée pour traiter les calculs sur les réels) destiné à résoudre l'ensemble des relations fournies entre les paramètres pour en resserrer les bornes ou en fixer les valeurs.
- Module « entrée d'informations » : Ce module écrit en Prolog permet à l'utilisateur d'ajouter des contraintes entre paramètres ou d'en fixer les valeurs. Le module calculs doit alors être relancé. Ce module est à la fois le dernier maillon du système Proform et le point d'entrée du système Copest.

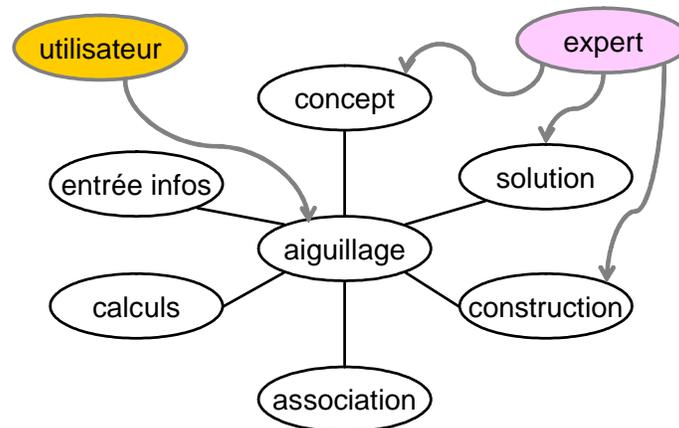


Figure 5. Structure du système « Proform ».

Avec environ 1200 clauses (plus 2300 clauses correspondant aux objets stockés en fichiers), Proform se classe parmi les applications Prolog de taille importante.

Proform est un prototype opérationnel qui a été utilisé pour modéliser les connaissances relatives à la conception et la production de plusieurs pièces moyennes en construction mécanique, mais peut potentiellement être utilisé dans d'autres domaines.

### 2.3 Bilan scientifique et perspectives

Ce travail a été réalisé dans le contexte de l'euphorie de l'Intelligence Artificielle [CRE 97] où l'on imaginait pouvoir assez rapidement automatiser la conception. Il a contribué à mettre en évidence l'ampleur de cette tâche. La formalisation de la connaissance sous forme de règles de production « en langage naturel » s'avère en réalité peu aisée à mettre en œuvre, et nécessite le recours à un cognaticien, malgré la mise au point d'un module « expertise »

développé pour assister l'expert. Il a également montré la difficulté d'expression des contraintes et de leur propagation [YVA 01]<sup>8</sup>.

Cette problématique a fait depuis l'objet d'autres recherches, comme les travaux de Mony [MON 92] qui a proposé un modèle de produit basé sur la fonction, le composant, la géométrie, ou de Dupinet [DUP 91] qui s'est attaché à la prise en compte des relations fonctionnelles dans la conception de produits mécaniques. Une synthèse assez complète des modèles et approches pour la conception et production intégrées a été proposée par Bernard [BER 00-1] [BER 02]. Enfin, ce travail s'inscrit pleinement dans les thèmes traités encore aujourd'hui par les communautés scientifiques GT IS3C, AIP-Priméca, Design Society et AFIA.

Ce travail a initié pour nous le passage d'une culture en génie mécanique à une culture en génie informatique, et en particulier notre intérêt pour les problématiques de modélisation.

## 2.4 Démarche d'intégration de modèles

L'utilisation de systèmes experts permet d'intégrer les modèles selon une approche que nous appelons « cumulative » (figure 6).

En effet, le modèle de connaissance d'un expert est constitué d'un ensemble de règles de productions formalisées par le cogniticien. Toutes les règles des différents experts sont rassemblées dans la base de connaissance ; elles s'ajoutent donc (il est à noter que rien ne garanti a priori l'absence de contradictions). Dans notre cas, l'expertise du fabricant est venue s'ajouter à celle du concepteur.

L'utilisateur modélise à son tour son problème de conception en spécifiant des faits. Les connaissances et les faits sont exploités par le moteur d'inférence (développé par un informaticien).

Comme le système fournit des explications à l'utilisateur sur le raisonnement qu'il applique au cours de la résolution de problème, il lui permet d'acquérir progressivement une certaine expertise dans le domaine.

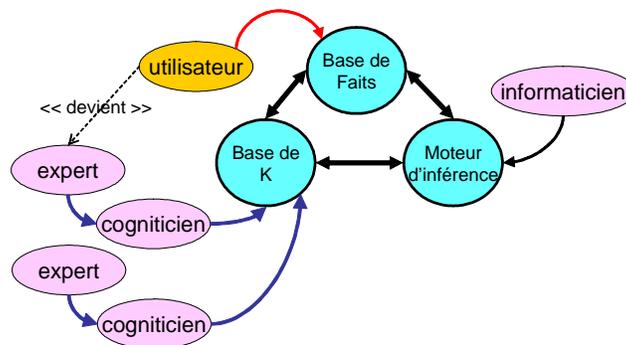


Figure 6. Intégration de modèles par une approche cumulative.

<sup>8</sup> On pourra consulter à ce sujet les supports des présentations effectuées lors de la journée « Propagation par contraintes et conception » organisée à Paris le 6 juillet 2004 par le GT IS3C : <http://is3c.ec-lille.fr>



### 3. Ingénierie de développement informatique

---

#### 3.1. Contexte

Du fait des exigences économiques, les sociétés de service en ingénierie informatique (SSII) doivent répondre aux appels d'offre dans des délais très courts. La réponse à un appel d'offre de développement informatique, si l'on exclut la partie commerciale, consiste, à « évaluer le projet ». Il s'agit, à partir du dossier de spécifications fonctionnelles d'une application à développer, d'estimer les charges de travail nécessaires à la réalisation et la mise en service opérationnel de l'application chez le client.

Par ailleurs, les experts ont souvent une charge de travail qui ne leur permet pas toujours de se libérer pendant un laps de temps suffisant, compatible avec le délai de réponse souhaité, pour pouvoir effectuer une estimation précise de ces charges.

Or, de la qualité de ce travail dépend souvent la rentabilité (ou non) de l'ensemble du projet. Il est donc indispensable de se doter de méthodes permettant d'améliorer sensiblement la productivité de l'expert lorsqu'il évalue un projet, voire de capitaliser son savoir-faire en matière d'évaluation de projets informatiques.

C'est dans le cadre d'une mission en SSII dont le créneau est l'informatique de gestion des grandes entreprises commerciales et industrielles que nous avons mis au point une méthode d'évaluation des charges des développements informatiques. Cette méthode est inspirée de la méthode des points de fonction d'Albrecht [IFP 94], et se veut pragmatique afin d'éviter le rejet par les utilisateurs (les experts en évaluation) : le challenge consiste à leur faire gagner du temps dès la première utilisation.

#### 3.2. Contribution

La méthode proposée (figure 7) fait partie des modèles algorithmiques basés sur l'estimation de variables jugées significatives à l'aide de fonctions mathématiques. Elle nécessite de disposer de spécifications fonctionnelles détaillées. Plusieurs éléments dénombrables sont identifiés (écrans de saisie, écrans d'affichage de liste, impressions papier, traitement d'accès à une table...). A chaque élément est associé un niveau de difficulté (simple, moyen, complexe...) spécifié par des critères objectifs ; ainsi, par exemple, un écran de saisie comportant 3 champs au maximum aura un niveau de difficulté « simple ».

Sur cette base, l'expert parcourt le dossier de spécification et comptabilise les éléments et le niveau de difficulté associé. Une base de connaissance élaborée en concertation avec les experts permet d'associer à chaque élément et pour chacun des niveaux de difficulté une charge (en jour-homme) correspondant au codage et tests de l'élément dans un environnement technique précis de développement. On obtient ainsi une charge brute de codage et tests unitaires de l'application.

La prise en compte de critères propres à l'environnement de développement (disponibilité des ressources matérielles et humaines du client, par exemple) permet d'appliquer un facteur correcteur et d'obtenir la charge nette de codage et tests unitaires.

Le projet ne se limite évidemment pas à ces deux tâches, et il est nécessaire de prendre en compte d'autres postes de travail tels que la documentation, les tests d'enchaînement, les contrôles qualité, les recettes (livraisons au client), l'encadrement... Nous avons établi une check-list de ces postes destinée à éviter les oublis. Pour chacun de ces postes la charge

calculée est obtenue en appliquant un facteur multiplicateur à la charge nette obtenue auparavant. Ces ratios constituent également un modèle de connaissance basé sur l'expérience des experts. L'expert a la possibilité soit de prendre en compte la charge calculée, soit de la modifier par la prise en compte in fine de niveaux d'exigence particuliers du client. On obtient ainsi la charge globale du projet exprimée en jour-homme par profil (consultant, chef de projet, ingénieur, analyste, analyste-programmeur).

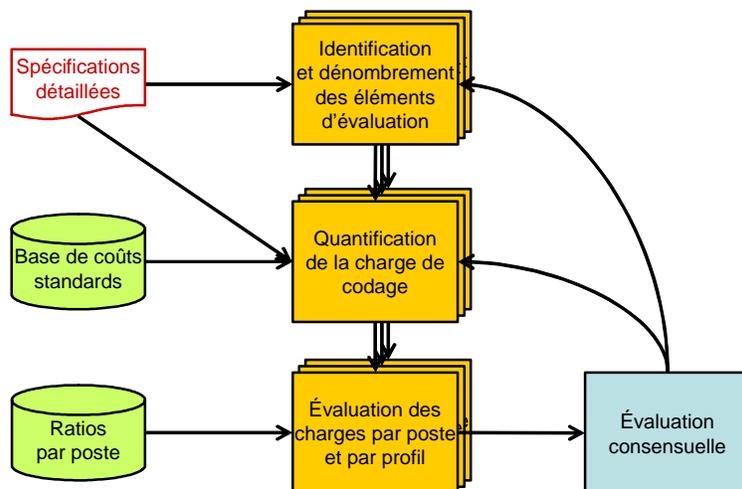


Figure 7. Principe de la méthode d'évaluation des coûts.

Plusieurs estimations sont effectuées de manière indépendantes par plusieurs experts, et une réunion de recherche de consensus est organisée : les divergences sont mises aisément en évidence, permettant de demander au client des précisions supplémentaires sur des parties ambiguës du dossier de spécifications. Lorsque le projet est terminé, un bilan est effectué pour apprécier les écarts éventuels sur les différents postes, et réactualiser les modèles de connaissances en conséquence.

Nous avons développé un outil informatique qui a été testé puis généralisé dans l'entreprise.

Les principaux apports sont liés au gain de temps, mais surtout à la fiabilisation des estimations, compte tenu de leur caractère objectif et reproductible. La précision globale obtenue est de l'ordre de + ou - 5% pour des paramètres correctement calés.

Cette méthode fait partie des approches dites analytiques ascendantes (bottom-up) ; elle nécessite d'être recoupée par une approche globale descendante (top-down) afin d'éviter l'oubli d'éléments importants dû à une trop forte focalisation sur le détail de l'application à réaliser (toutefois, les méthodes descendantes ne s'appliquent qu'aux projets de taille significative). La méthode globale descendante utilisée est basée sur le modèle d'estimation de Merise [TAR 89] qui dénombre les procédures. La convergence des modèles s'effectue par une comparaison de l'ordre de grandeur des résultats obtenus par les deux méthodes. Si l'écart dépasse un seuil (fixé empiriquement à 10%), chaque procédure est comparée pour cerner celle(s) où un écart apparaît. Une réévaluation est alors réalisée afin soit de justifier l'écart, soit de le réduire.

Ces travaux s'inscrivent dans une démarche plus globale d'ingénierie pour les développements informatiques<sup>9</sup>. Dans ce domaine, on peut distinguer deux grandes classes d'activité : le projet de développement, qui consiste à mener la conception – réalisation –

<sup>9</sup> Se référer aux approches It II ou au référentiel CMMI (Capability Maturity Model Integration).

livraison d'une application informatique en respectant le triptyque coût / délai / qualité, et la maintenance informatique qui consiste à faire évoluer une application souvent déjà en exploitation.

Pour les projets, de nombreuses méthodes existent, mais elles sont diversement appliquées (c'est même un euphémisme). Nous avons contribué à mettre en œuvre une ingénierie de projet de développement qui a permis de cadrer l'ensemble d'un projet ; celle-ci a servi de base à la démarche qualité qui a conduit à la certification ISO9001 de l'entreprise.

Concernant la maintenance, la situation est plus critique encore : l'absence de rigueur (voire l'improvisation) semble parfois être édictée comme règle de fonctionnement. Ceci est d'autant plus fâcheux que l'activité de maintenance peut représenter de l'ordre de 80% de l'activité d'un service étude informatique. Par ailleurs, si les entreprises savent généralement comment sous-traiter un projet complet, elles sont parfois désemparées pour lancer un appel d'offres pour la délégation de la maintenance d'une application à un prestataire externe. Nous avons dans ce cadre élaboré une démarche méthodologique d'ingénierie de maintenance des applications informatiques qui permet de cadrer l'ensemble d'un processus de transfert de responsabilité d'un client vers un fournisseur (avec possibilité de retour arrière) sans dégradation de la qualité de service.

Nous pensons que l'impact des Hommes (qualification, état d'esprit, communication, management) et des méthodes (qualité, partage des besoins, gestion de projet, gestion des évolutions) sur la productivité est prépondérant sur celui des applications à maintenir et des outils disponibles.

### 3.3 Bilan scientifique et perspectives

Un étudiant qui a réalisé un Master Recherche Génie Industriel, Mr Anis Ferchichi, va poursuivre et étendre ces travaux dans le cadre d'une thèse de Doctorat en convention CIFRE avec la société Sylis. Les travaux s'appuieront sur le modèle précoce Cocomo II et sur le modèle post-architectural.

La problématique s'est encore complexifiée puisqu'il s'agit aujourd'hui pour l'entreprise de développer une offre dite de « *widesourcing* » basée sur l'industrialisation du processus de production de logiciel et la réduction des coûts. L'externalisation à l'international d'une partie des développements conduit à prendre en compte de nouveaux aspects humains pour l'ensemble des acteurs, étrangers et français. Elle nécessite la mise en œuvre de nouvelles méthodes de pilotage de l'activité.

Un second étudiant en Master Recherche dans la même société, Mr Dimitri Carcanis, a mené un travail sur une approche multi modèles des processus de l'entreprise qui servira de cadre à l'élargissement des travaux sur les modèles de coûts. Il s'agit d'intégrer dans un référentiel commun l'ensemble des processus de l'entreprise et d'offrir aux divers utilisateurs (collaborateurs et évaluateurs) une vue correspondant à leur besoin. Par exemple, un évaluateur SCAMPI pour le système CMMI doit pouvoir trouver une description très opérationnelle de la gestion des exigences et accéder aux enregistrements pour vérifier la bonne exécution du processus correspondant.

Plusieurs communautés scientifiques s'intéressent aux modèles de coûts (The Center for Software Engineering (CSE) de l'Université de Californie du sud pour le modèle COCOMO II et l'International Function Point Users Group (IFPUG) pour le modèle des points de fonction).

Pour la modélisation d'entreprise, citons notamment le GT ECI (Entreprise Communicante et Interopérabilité) du GDR MACS et les contributeurs de la TG2 d'InterOp.

Ce travail nous a permis d'acquérir une solide expérience dans le domaine du management de projet et a amorcé une culture dans le domaine de la modélisation d'entreprise. La mise en œuvre d'un référentiel commun à plusieurs spécialistes est abordée dans les sections suivantes.

### 3.4 Démarche d'intégration de modèles

L'intégration de modèles s'effectue ici selon un mode que nous appelons « convergent ».

Cette convergence s'effectue à deux niveaux (figure 8) : tout d'abord par itérations des modèles d'évaluation analytique de chaque expert, puis par comparaison avec les résultats obtenus par le modèle global.

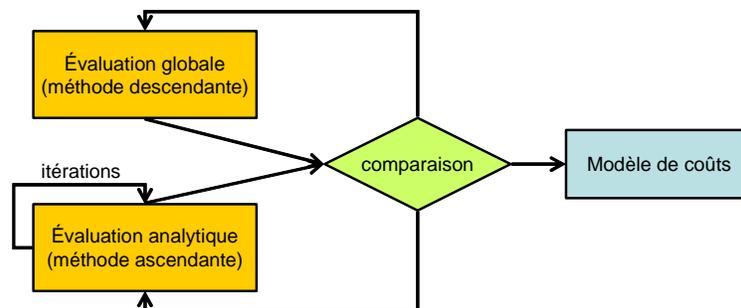


Figure 8. *Intégration de modèles par une approche convergente.*

---

## 4. Référentiel pour la conception des systèmes de production

---

### 4.1. Contexte

Ce travail de recherche porte sur l'intégration de modèles par une démarche que Chen [CHE 03] appelle « modèle unifié ». Il s'agit, par une approche ascendante de méta-modélisation, de réaliser un référentiel commun à différents experts.

Le domaine d'application est celui du projet CASPAIM (Conception Assistée des Systèmes de Production en Industrie Manufacturière) du LAIL [BOU 93], confronté à des difficultés pour faire cohabiter de manière cohérente un ensemble de points de vue.

A l'origine, le projet a été développé par quatre chercheurs du LAIL [CAS 87], [BOU 88], [KAP 88], [CRA 89], conduisant à un ensemble cohérent de modèles s'inscrivant dans une logique globale. Une maquette opérationnelle permettant d'assister le concepteur dans l'élaboration de la commande des systèmes flexibles de production manufacturière (SFPM) a été réalisée. Après la spécification du cahier des charges de la commande, un graphe fonctionnel est construit, constituant le modèle complet de la commande. La validation du système est réalisée par simulation (analyse des performances, étude des blocages et indéterminismes, détermination des régimes transitoires et modes de marche). Enfin, on procède à l'implémentation automatique du modèle sur un réseau d'automates industriels. Le formalisme utilisé est celui des réseaux de Petri (RdP), et l'ensemble a été développé en Le\_Lisp.

Dans un second temps, l'équipe de recherche s'est étoffée, et de nombreux travaux sont venus aborder des points de vue complémentaires, tels que le pilotage, la surveillance – supervision [ELK 95] [TOG 96] [LY 97] [BER 98], la gestion de production et l'évaluation de performance [AMA 94] [CAM 96] [KOR 97]. Plusieurs nouveaux modèles ont ainsi été créés, utilisant les RdP mais aussi les States Charts, les automates à états finis, les diagrammes de Gantt ou encore d'autres formalismes spécifiques, tels que les graphes d'accessibilité opérationnels [BER 99], ou le concept de machine virtuelle [BOI 92].

Il devenait très difficile de garantir la cohérence du projet et de valider l'approche globale. Les maquettes étaient développées dans des environnements différents et sans nécessairement chercher à les intégrer dans un ensemble.

De façon plus générale, on peut considérer qu'une même réalité, qu'il s'agisse d'un système de production ou de tout autre objet, peut être appréhendée selon des points de vues différents par plusieurs experts.

Nous proposons d'offrir une structure d'accueil dans laquelle nous intégrons les modèles des experts, en cherchant à les rendre cohérents. Cette structure, appelée « référentiel », permet à chaque expert de conserver sa propre vision de l'objet modélisé. Trois éléments ont conduit à l'émergence de cet axe de recherche : l'évolution des technologies de l'information et de la communication, la naissance d'UML en 1997 favorisant l'intégration d'approches, et enfin l'accroissement des connaissances et compétences de notre équipe dans le domaine des systèmes d'information.

Appliquée au domaine précédent, la démarche conduit à l'architecture présentée figure 9.

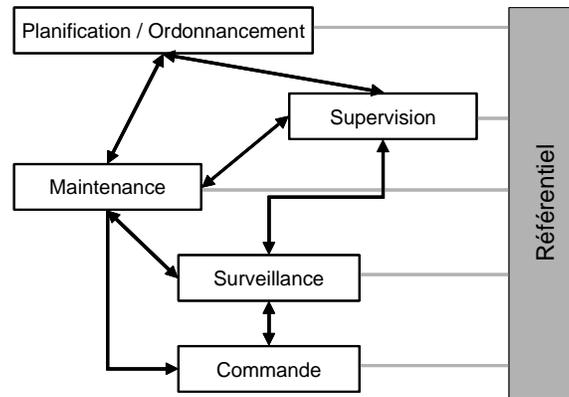


Figure 9. Le référentiel, structure d'accueil des différents modèles.

Tous les modèles sont liés entre eux, et le référentiel que nous avons développé est un système d'information qui permet aux différents utilisateurs d'échanger et de partager les informations pertinentes (données, traitements, documents, ressources, etc.) relatives à un produit (procédé, pièce, etc.) durant son cycle de vie.

Chaque utilisateur dispose d'un ou plusieurs points de vues filtrant l'accès aux informations [SAU 97] ; le référentiel permet un traçage de l'information. Cet aspect constitue le point de départ de nos travaux actuels sur la mémoire de projet présentés plus loin.

## 4.2. Contribution

### 4.2.1. Architecture du référentiel

Les principales difficultés dans l'intégration de données [MAR 91] sont la polysémie, la redondance, l'inaccessibilité des données et les incohérences liées à une modification.

Nous avons fait le choix d'une approche ascendante qui consiste à intégrer progressivement les points de vue des utilisateurs après méta-modélisation. Il est pour cela nécessaire de mettre en évidence les intersections entre modèles, c'est-à-dire les entités communes ou les liens entre entités de modèles différents.

En nous basant sur l'architecture du référentiel IRDS (Information Resource Dictionary System) [MAR 91], nous avons proposé une architecture du référentiel que nous avons limitée à trois niveaux (figure 10).

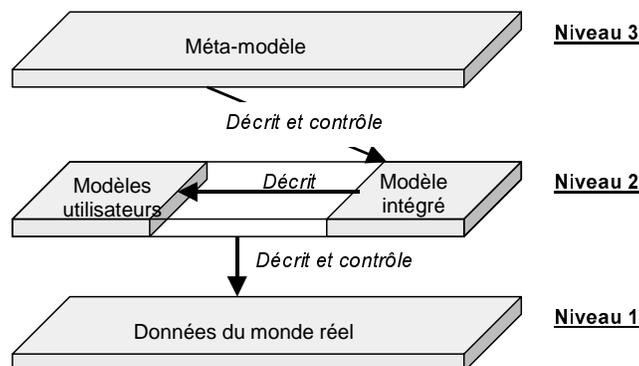


Figure 10. Les trois niveaux du référentiel.

Le niveau 1<sup>10</sup> (instance) correspond aux objets du monde réel de l'utilisateur, le niveau 2 (modèle) est une modélisation du monde réel qui constitue le dictionnaire des objets de niveau 1 ; c'est à ce niveau que devront être détectées les intersections entre modèles utilisateurs, et que le modèle intégré sera construit. Enfin, le niveau 3 (méta modèle) permet la description et le contrôle des modèles utilisateurs ; c'est à ce niveau qu'est assurée la gestion des points de vue.

#### 4.2.2. Approche orientée objet et UML-OCL

Pour favoriser l'intégration des informations, il est préférable de proposer un formalisme neutre qui permette de représenter les modèles des différents utilisateurs, et qui simplifie la fédération des points de vue, en prenant en compte les aspects fonctionnels et dynamiques.

Des méthodes comme Merise [TAR 89] permettent l'obtention d'un modèle entité / association normalisé qui offre l'avantage de faciliter la communication visuelle et de favoriser l'expression des règles de gestion. Néanmoins, la séparation entre les données et les traitements pose problème dans un domaine où la dynamique n'est pas dissociable des données.

Une approche orientée objet semble mieux adaptée à la modélisation des SFPM, grâce à sa grande modularité et aux liens étroits entre attributs (données) et opérations (comportement). Nous avons donc opté pour une approche orientée objet basée sur UML (Unified Modeling Language) [BOO 98] [KET 98] [OMG 03] [OMG 04].

Parmi les modèles proposés par UML, nous utilisons essentiellement le diagramme de classes que nous avons enrichi de contraintes supplémentaires (exclusive et existentielle). Le langage OCL (Object Constraint Language) [OMG 05] est également utilisé pour exprimer de manière précise des contraintes qui ne peuvent être spécifiées dans les diagrammes UML.

#### 4.2.3. Méta-modèle

Nous avons retenu une approche de méta-modélisation qui permet une meilleure compréhension des modèles de niveau 2. L'approche de méta-modélisation a notamment été utilisée dans [DEN 93] qui fournit une méthode permettant de développer des méthodes formelles et intégrées par leur propre modélisation, dans [HAR 97] où un outil de conception pour la capitalisation des connaissances durant la conception est proposé, ainsi que dans [PIC 97] qui définit une méthode d'intégration progressive des données.

Le méta-modèle proposé figure 11 répond aux exigences évoquées précédemment ; il prend en compte :

- La gestion des points de vue utilisateurs ; l'administrateur du référentiel peut ainsi modifier (ajouter, supprimer) un utilisateur ou un point de vue, sans compromettre la cohérence du modèle existant ;
- Il est enrichi de deux contraintes : exclusive (X) et existentielle ( $\exists$ ), détaillées plus loin.

---

<sup>10</sup> Il est à noter que ce niveau 1 correspond au niveau M0 défini par l'OMG.

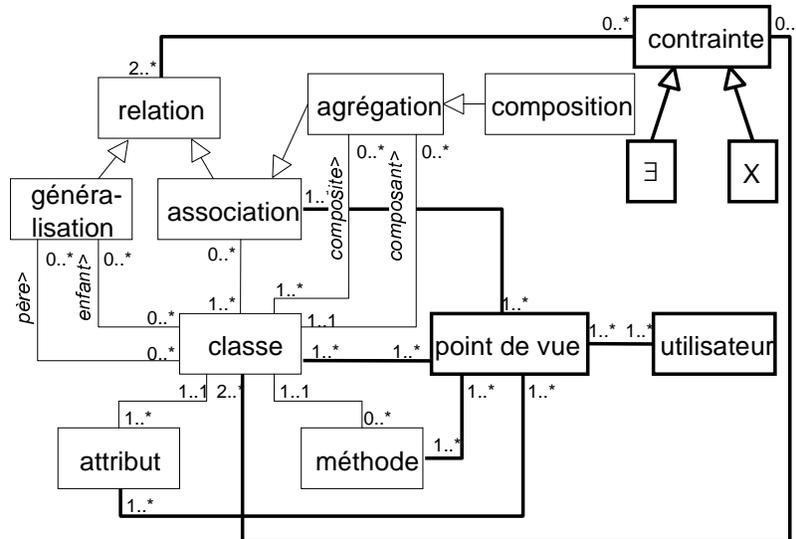


Figure 11. Méta-modèle du référentiel.

#### 4.2.4. Contraintes exclusive et existentielle

Les éléments que nous avons à gérer font fréquemment appel à une modélisation par objet composite : il s'agit d'un objet constitué par l'agrégation d'objets composants [GUA 94] [HAL 92]. Ce type d'objet, dont la sémantique est riche [COU 97] [DJE 93], peut être très complexe, et nécessite une gestion particulière, notamment dans les opérations de mise à jour ou suppression de ses composants. C'est dans ce cadre que nous avons enrichi le méta modèle UML par deux contraintes : exclusive et existentielle.

Les extensions au formalisme UML que nous avons proposées [CI/98/15] permettent d'exprimer, lorsque cela est requis :

- Qu'un composant n'appartient au plus qu'à un composite à un instant donné, mais qu'il peut appartenir à plusieurs composites pendant sa durée de vie (contrainte exclusive) ;
- Qu'un composite doit être détruit lorsqu'on supprime un ou plusieurs de ses composants (contrainte existentielle) ; ceci a été développé dans [OUS 97] par la notion de prédominance.

Ces extensions sont représentées avec des stéréotypes de dépendance (les stéréotypes sont l'un des trois mécanismes d'extension en UML) complétées par l'expression de contraintes OCL. On obtient ainsi une représentation très concise.

#### 4.2.5. Schémas de conception

Dans le domaine du génie informatique, de nombreux problèmes sont récurrents. Les schémas de conception (ou design pattern, ou patron) [ALE 97] permettent, après une phase d'identification d'un problème, de réutiliser tout ou partie d'une solution standard en l'adaptant si nécessaire à un besoin particulier. Nous avons notamment utilisé ou amélioré les patrons orientés objets proposés par E. Gamma, R. Helm, R. Johnson et J. Vlissides [GAM 94].

Dans le cadre de l'intégration de modèles d'experts, les patrons permettent de capturer certains concepts utilisés fréquemment par les experts. L. Gzara [GZA 00/1] [GZA 00/2] [GZA 03/1] [GZA 03/2] par exemple les utilise pour construire des modèles de produit.

Dans l'ensemble des formalismes utilisés pour la modélisation, ceux issus de la théorie des graphes occupent une place importante dans le domaine de l'ingénierie : citons, par exemple, les arbres et arborescences, les graphes orientés (Pert), les graphes orientés bipartites (les réseaux de Petri, le Grafcet).

Nous avons proposé un nouveau schéma de conception (figure 12) auquel nous avons associé des contraintes OCL telles que celles présentées figure 13 pour éviter les sommets isolés (non connectés) [NDI 00].

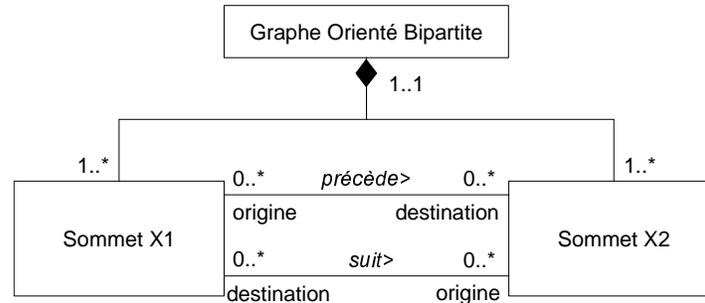


Figure 12. Schéma de conception du graphe orienté bipartite.

```

context SommetX1 inv :
  (self.destination->union(self.origine))->notEmpty

context SommetX2 inv :
  (self.destination->union(self.origine))->notEmpty
  
```

Figure 13. Contraintes OCL évitant les sommets isolés.

#### 4.2.6. Démarche d'intégration de points de vue

Certaines approches proposent une intégration basée sur la définition préalable d'un modèle général d'architecture de référence adaptable à des systèmes particuliers par spécialisation ; cette démarche descendante relève de ce que [BOI 98] appelle le « principe de matérialité de l'ingénierie » et que Chen [CHE 03] appelle l'approche « intégrée ».

C'est le cas par exemple de CIM-OSA [THA 92] [VER 93] qui propose une intégration multi points de vue de l'entreprise. Différents modèles sont proposés, chacun étant dédié à un domaine de l'entreprise (organisation, ressources, information, fonctions). La dérivation modélise la description du passage de l'expression des besoins de l'entreprise aux spécifications de conception, puis à l'implémentation. L'architecture de référence étant cohérente, l'architecture particulière qui en résulte par instantiation l'est également.

De même, le modèle Base-PTA [AFN 92] [FRA 87] [DEG 01] constitue un cadre de référence destiné à servir de base à la conception de nouveaux systèmes de XAO, en favorisant l'échange et le transfert de données avec les systèmes XAO existants. Le modèle de

référence est décrit par un modèle conceptuel de données au moyen d'un formalisme entité – association.

D'autres approches peuvent également être citées, comme la méthodologie GRAI (Graphe à Résultats et Activités Inter-reliés) [DOU 84], devenue par la suite GIM (GRAI Integrated Methodology), fournissant des méthodes pour modéliser l'entreprise, évaluer ses performances et proposer des améliorations, ou encore la norme STEP (ISO 10303) qui propose un format neutre de l'information indépendant de toute application particulière du système, permettant aux différents outils XAO d'un système intégré de production d'échanger et de partager un modèle de produit neutre.

Ces cadres de référence formalisent une image idéale, le système à concevoir ; le modèle de référence issu de ce système idéal permet de générer des modèles propres au système réel étudié par intégration sémantique [BON 98]. Dans la pratique, ces approches, bien qu'applicables à l'intégration et à la coordination de l'entreprise, semblent mieux adaptées à la mise en place de nouveaux modèles d'implémentation à partir du modèle des besoins. L'intégration de modèles préexistants reste difficile [NDI 00].

Plutôt que d'intégrer les modèles à travers leurs formalismes de modélisation [BON 98], sujets à des évolutions assez fréquentes, le choix est fait ici de procéder à une intégration des modèles au travers de leurs concepts de modélisation qui présentent davantage de stabilité. Ces concepts sont indépendants du système étudié, contrairement aux modèles des systèmes. Ainsi par exemple, si une gamme de fabrication est modélisée par un expert à l'aide d'un réseau de Petri, ce ne sont pas simplement les places et les transitions de ce réseau qui seront modélisées, mais ce qu'elles modélisent (l'état du produit, l'opération d'usinage...).

Le point de départ de la démarche d'intégration est constitué des modèles produits par les différents intervenants du projet ; un modèle commun est progressivement construit selon une démarche ascendante. La démarche que nous proposons est décrite figure 14.

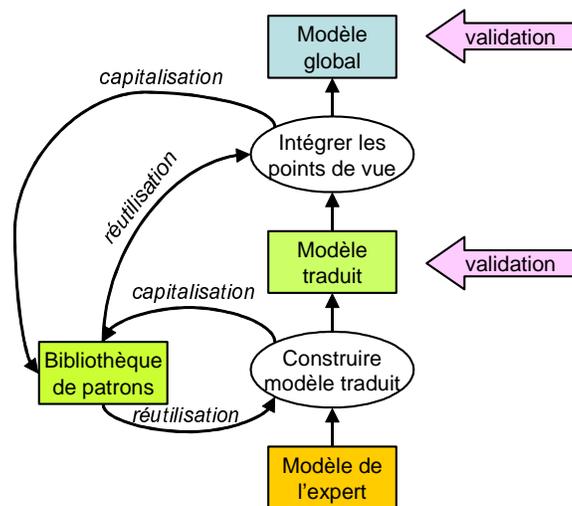


Figure 14. Démarche d'intégration de modèles.

Chaque modèle spécifique utilisé par un expert est traduit en UML en instanciant si possible des schémas de conception (patrons) issus de la bibliothèque ; un modèle traduit est ainsi obtenu. Lors de l'élaboration du modèle UML, certains sous-modèles peuvent être identifiés comme présentant un intérêt général, et venir enrichir la bibliothèque de patrons.

Le modèle traduit est alors validé en présentant les modèles UML aux experts concernés et en s'assurant auprès d'eux que l'ensemble des concepts et de leurs relations manipulés à travers leurs connaissances « métiers » est bien capturé au sein des modèles UML.

Les modèles traduits sont ensuite successivement intégrés pour obtenir le modèle global. Dans ce modèle global, il est alors nécessaire de rechercher les intersections (classes communes, relations avec les classes d'autres modèles traduits,..), un peu comme les « classes pont » proposées par O. Million [MIL 98]. Cette recherche est menée à partir de la définition précise de chaque concept manipulé en mettant en évidence notamment les synonymes et polysèmes. A ce stade, de nouveaux invariants peuvent être identifiés, et venir enrichir la bibliothèque de patrons. Une validation finale collégiale par l'ensemble des experts permet de stabiliser le modèle global avant implantation en base de données.

Cette démarche favorise ainsi en premier lieu la réutilisation, en s'appuyant sur les patrons, et en second lieu la capitalisation, par l'enrichissement de cette même bibliothèque de patrons.

#### 4.2.7. Implantation

La dernière étape consiste à implanter, c'est à dire réaliser une application informatique supportant les informations contenues dans le modèle global. Le support informatique doit permettre la persistance des informations, être pérenne, évolutif, ouvert et indépendant de la plate-forme.

Plusieurs systèmes de gestion de base de données relationnels possèdent ces qualités ; nous avons retenu pour notre part le système de gestion de base de données relationnel Oracle. Un travail a été effectué pour traduire le modèle UML en modèle relationnel normalisé, en vue de la réalisation de la base de données.

Il s'agit d'une problématique de transformation de modèle qui constitue un centre d'intérêt d'InterOp, comme nous l'avons souligné précédemment.

L'ensemble des diagrammes de classes et des contraintes OCL est traduit en un ensemble de tables avec contraintes d'intégrités qui permettent d'assurer la cohérence du référentiel et de pouvoir gérer au mieux l'impact d'une modification de donnée. Des vues sont ensuite construites permettant de fournir aux différents experts une représentation des informations qui les concernent sous une forme qui leur est familière. Ces vues, qui jouent également le rôle de filtre, permettent à un expert d'avoir accès selon des droits spécifiques (consultation, modification,...) aux données représentatives de modèles d'autres experts.

Les processus d'exploitation, transformations de modèles (savoir-faire de l'expert) peuvent également être introduites dans le référentiel si le gestionnaire de base de données permet la programmation de procédures stockées.

Enfin, des passerelles sont développées permettant l'interfaçage avec les outils « familiers » des experts.

#### 4.2.8. Applications

La première application a porté sur la cellule flexible de production du LAIL. Nous avons commencé par modéliser la description physique de la cellule ; il est en effet aisé d'obtenir un consensus pour un tel modèle. Les autres points de vue ont été intégrés progressivement, et nous disposons à l'heure actuelle d'un modèle couvrant tous les points de vue.

Les points de vue intégrés concernent la commande, le pilotage d'un système de production (le lecteur trouvera tous les détails de ces points de vue dans la thèse de D. Ndiaye [NDI 00]), ainsi que l'évaluation de performance (se référer à [RN/03/2]) et la supervision (se référer à [RI/04/6]).

Ces modèles ont ensuite été « validés » sur d'autres systèmes de production par la réalisation de diagrammes d'objets.

Plus récemment, nous avons développé des modèles relatifs au produit : ses spécifications (fonctions et contraintes auxquelles il doit satisfaire), les solutions technologiques potentielles et leurs conditions d'utilisation, sa structure, sa géométrie (se référer à [CI/02/1] et à [CI/04/3]).

Concernant l'aspect géométrique, même si elle n'a pas été réalisée, une liaison avec un système de CFAO est tout à fait envisageable. Ces modèles s'intègrent parfaitement avec ceux réalisés pour les systèmes de production.

Les derniers développements de ces travaux sont relatifs au domaine de la surveillance – supervision pour lequel une démarche directement issue du génie informatique est mise en œuvre pour prendre en compte la méthode proposée par A. Toguyéni [TOG 00] et M. Ghazel [RI/04/6]. Cette méthode, l'approche analytique, s'applique aussi bien aux systèmes à événements discrets qu'aux process continus de production.

Dans un premier temps, un graphe structurel du système de production est établi, montrant la hiérarchie de ses constituants. Un arbre fonctionnel en est ensuite déduit, prenant en compte les fonctions (contextuelles ou génériques) assurées par chaque constituant. Puis, le modèle des flux est établi ; il représente les échanges de flux (matière, énergie, information) entre les fonctions internes des composants du système

A l'aide de ces modèles, le graphe fonctionnel est établi ; il s'agit d'un graphe causal construit à partir d'une modélisation fonctionnelle du système, représentant la propagation des défaillances et permettant d'identifier les composants responsables d'une défaillance.

Se référer à [TOG 00] pour tout détail sur l'approche proposée, et à [RI/04/6] pour l'application de la démarche d'intégration de modèles.

#### 4.2.9. Maquette informatique

Afin de vérifier la validité des modèles, un prototype a été développé. Etant donné la charge de travail, seuls les points de vue « commande » et « évaluation de performance » ont été implantés. Cette application a démontré la faisabilité et l'intérêt de la démarche. Ainsi par exemple, un simple bouton permet au point de vue « évaluation de performance » de récupérer l'architecture physique saisie par le point de vue « commande », alors qu'elle était jusqu'alors dupliquée, avec tous les risques d'incohérence liés à une telle démarche.

Afin d'assurer la persistance des données, l'application a été développée à l'aide d'un système de gestion de base de données relationnel, selon une architecture client/serveur.

Le client comporte un navigateur et une application d'extraction (en vue d'alimenter des outils de modélisation de réseau de Petri). L'application dispose d'un serveur applicatif (serveur web, serveur pour les formulaires et les rapports) et d'un serveur de données.

La figure 15 représente l'architecture logicielle pour le point de vue « commande » d'un atelier flexible. La figure 16 montre une capture de l'écran d'accueil conçu pour guider la

démarche. L'utilisateur saisit la structure du produit, les opérations (usinage, assemblage...) possibles, et peut saisir les gammes logiques (ensemble d'opérations que doit subir le produit, indépendamment des ressources qui les réaliseront). Après avoir saisi la structure de l'atelier, les opérations fonctionnelles (réalisation d'une opération dans une zone physique) peuvent être déterminées. A partir de ces informations, les points de vue « commande » et « évaluation de performances » peuvent être abordés.

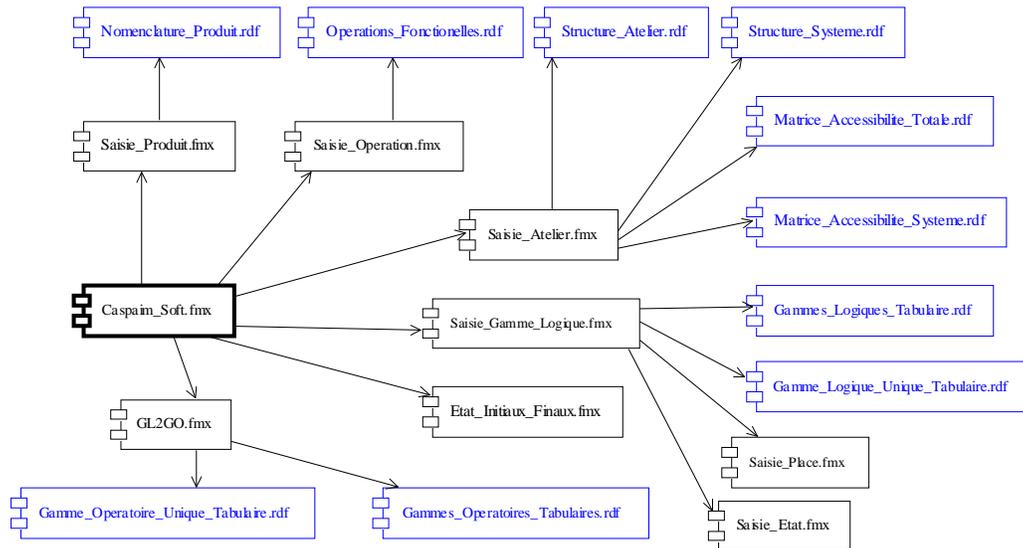


Figure 15. Diagramme de composants pour le point de vue « commande ».

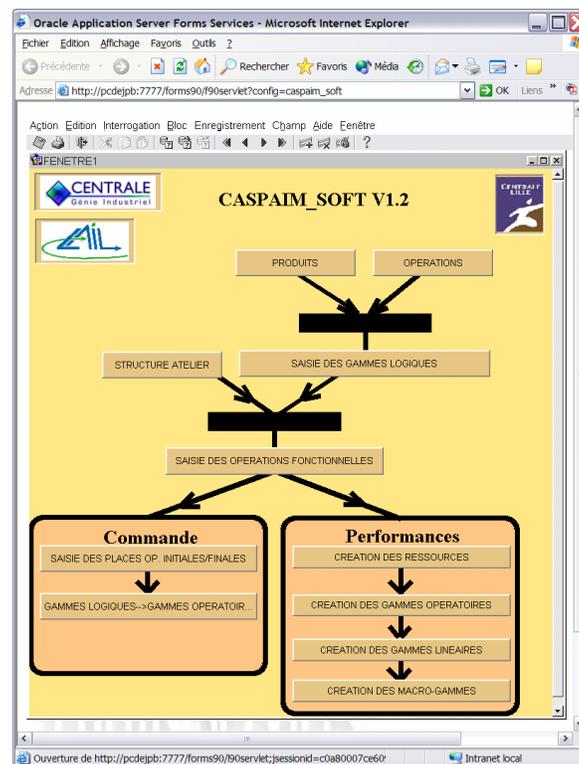


Figure 16. Ecran d'accueil de l'application.

A titre d'illustration, la figure 17 représente une capture de l'écran de saisie de la gamme logique ; on remarque qu'un soin a été apporté à la conservation d'une forme très proche de la culture de l'utilisateur (ici, en représentant une portion de RdP).

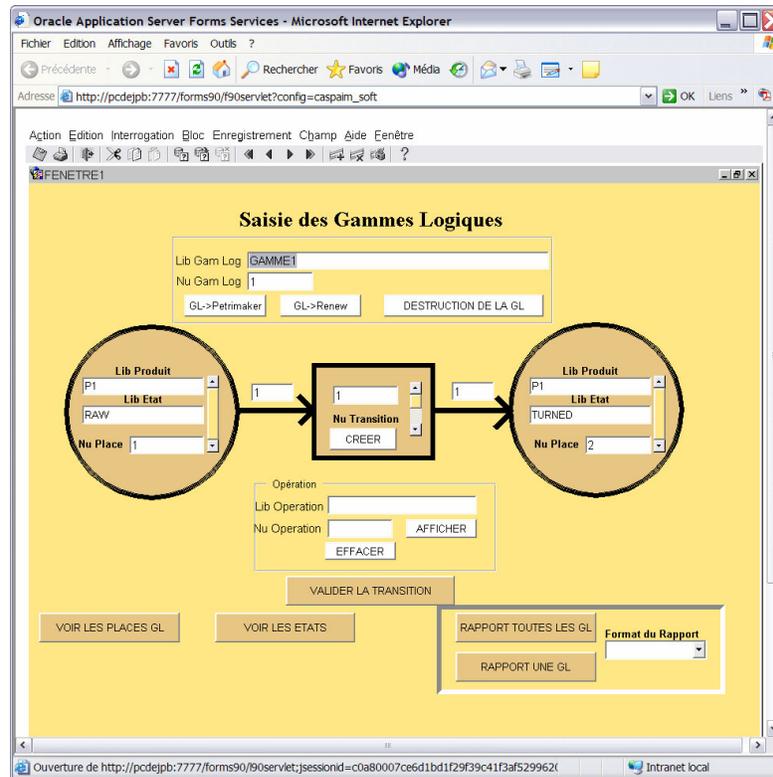


Figure 17. Ecran de saisie des gammes logiques.

La figure 18 donne un exemple des nombreux rapports qu'il est possible d'éditer automatiquement.

n°	Places Amont	Pds	n°Trans	Lib Operation	Pds	n°	Places Aval
4	P1:MILLED	1	4	TURNING	1	3	P1:FINISHED
1	P1:RAW	1	1	TURNING	1	2	P1:TURNED
1	P1:RAW	1	3	MILLING	1	4	P1:MILLED
2	P1:TURNED	1	2	MILLING	1	3	P1:FINISHED

Figure 18. Exemple d'état éditable automatiquement.

Enfin, il est à noter que cette maquette est ouverte : il est possible par exemple d'exporter les résultats vers d'autres outils de représentation de RdP.

### 4.3 Bilan scientifique et perspectives

Nous avons proposé une démarche ascendante d'intégration de modèles tirant profit des apports des approches orientées objet et du formalisme UML-OCL dont nous avons enrichi le méta-modèle. Cette méthode repose sur une architecture du référentiel en trois niveaux.

La démarche proposée a été mise en œuvre dans différents domaines ; elle permet aux experts de clarifier de nombreux concepts.

Notre démarche d'intégration de modèles est non prescriptive. Elle permet de passer de modèles individuels non mutualisés, à un ensemble de modèles partagés. La démarche proposée semble faciliter la coopération entre experts : il ne s'agit pas en effet d'imposer aux experts un modèle de référence mais de reconnaître les connaissances et savoir-faire exprimés dans leurs modèles et de leur fournir une structure d'accueil commune sans les déposséder de leur « savoir-modéliser » propre. Ainsi, des ponts ont été établis ou renoués entre experts.

Ce thème a fait l'objet de la thèse de Doctorat de Mr Djibril Ndiaye menée au LAIL et financée par une bourse MRT, soutenue le 18/09/2000. Il a été poursuivi par la thèse de Doctorat de Mr Mohamed Ghazel, allocataire de recherche au LAGIS, qui sera soutenue en 2005.

Enfin, la démarche proposée par Mr Dimitri Carcanis dans le cadre de son Master Recherche est directement inspirée de la méthode présentée.

### 4.4 Démarche d'intégration de modèles

La démarche proposée conduit à une intégration de modèles selon une approche « unifiée ». En effet, les applications des experts inter-opèrent par le biais d'un référentiel commun, comme l'indique la figure 19.

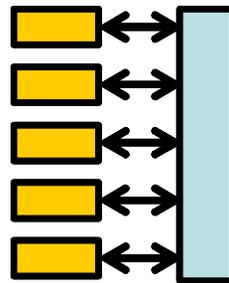


Figure 19. *Intégration de modèles par une approche unifiée.*

La démarche proposée est générique. Il reste que pour tout nouveau domaine les modèles sont à reconstruire entièrement.



---

## 5. Spécification de produit

---

### 5.1. Contexte

Dans ces travaux, nous avons développé une approche mixte d'intégration de modèles à la fois ascendante et descendante. L'approche descendante se justifie par la volonté d'offrir un cadre générique structurant ; nous avons opté pour une approche systémique d'intégration de points de vue compte tenu du caractère complexe de la problématique. L'approche ascendante résulte de l'extraction de connaissances à partir d'une base de données qui s'appuie sur les modèles de connaissances des experts formalisés par l'approche descendante.

Le domaine d'application est celui du développement de nouveaux systèmes de sécurité active embarqués (SSAE) sur les véhicules automobiles.

Dans ce cadre, les concepteurs et les accidentologues sont amenés à collaborer, notamment dans la phase de spécification du produit. Il s'agit de définir les fonctionnalités de nouveaux SSAE et d'en évaluer la pertinence a priori.

Pour cela, une bonne compréhension du phénomène accident par l'ensemble des acteurs est nécessaire [BEL 00]. Mais les concepteurs (spécialistes en mécanique et électronique) et les accidentologues (spécialistes en mécanique, biomécanique, ergonomie, infrastructure et psychologie) ont des points de vue, des modèles d'analyse d'accident et des langages métiers différents, ce qui rend difficile leur communication.

Le modèle de scénario-type d'accidents (STA) (qui consiste en un regroupement de cas d'accidents présentant des similitudes de déroulement, puis en l'élaboration d'un déroulement prototypique [FLE 01]) constitue un outil performant de partage de connaissance. Pour élaborer les STA, une solution consiste à réunir les experts qui exploitent une base de données d'accidents.

Cette base de données concerne des accidents réels qui ont été répertoriés. Concrètement, une équipe de spécialistes en accidentologie est dépêchée sur les lieux de l'accident dès que possible pour recueillir le maximum d'informations pertinentes permettant d'en expliquer l'enchaînement. Cette équipe est constituée d'un psychologue, d'un expert en véhicule et d'un expert en infrastructure. Les informations résultant des investigations sur la scène de l'accident, combinées avec d'autres informations recueillies ultérieurement, sont stockées dans une base de données d'accidents appelée EDA (pour Études Détaillées d'Accidents). Cette base comporte des données sur le conducteur, l'environnement, le véhicule, mais aussi des photographies et parfois des séquences vidéo de reconstruction dynamique réalisées par des experts.

Toutefois, ces EDA sont difficilement exploitables du fait :

- Du nombre important d'accidents déjà stockés (>1000 accidents) ;
- Du nombre important de paramètres caractérisant chaque accident (900) ;
- De la variété des types des données (données structurées, interviews, reconstructions 3D et photos) ;
- De la complexité du comportement du triptyque Conducteur – Véhicule – Environnement (CVE).

## 5.2. Contribution

La démarche proposée consiste à exploiter à la fois les données contenues dans les EDA, en tâchant d'en dégager la sémantique afin de recueillir des informations exploitables, tout en utilisant le savoir-faire d'accidentologues. L'objectif est de proposer un environnement automatisé apportant une aide aux experts du domaine, notamment en terme d'efficacité.

### 5.2.1. Approche systémique descendante

La première proposition est celle d'un modèle comportemental du système Conducteur – Véhicule – Environnement (CVE) qui a été établi à l'aide d'une approche systémique. Plus généralement, cette approche permet pour un domaine donné de construire un schéma multi vues comportant plusieurs niveaux de granularité.

#### *Choix du modèle de référence*

L'accident de la route est un phénomène complexe résultant du comportement complexe du système CVE. Ce n'est pas le nombre de composants en jeu dans un accident ni le nombre de variables impactées, ni même l'intensité de leurs interactions qui font de l'accident un phénomène complexe. C'est en fait l'impossibilité de prédire le comportement du système CVE qui le rend complexe. Cette non prédictibilité résulte de la prédominance des facteurs humains, eux-mêmes imprévisibles, dans le déroulement de l'accident (90% des accidents sont dus aux facteurs humains, selon les spécialistes du LAB). Le comportement humain n'est pas reproductible, même si toutes les conditions du contexte sont par ailleurs identiques. Enfin, il n'est pas possible d'assurer que toutes les défaillances ayant causé un accident ont été prises en compte de manière exhaustive, ni même que celles que l'on a recensées ont effectivement eu un rôle dans l'accident.

Le Moigne [LEM 99] expose deux logiques de modélisation : la logique disjonctive (appelée aujourd'hui formelle) et la logique conjonctive. La logique disjonctive prend sa source dans l'épistémologie positiviste qui prétend que « *tout est donné par la réalité des objets étudiés. On peut donc les identifier dès lors que l'on a procédé à leur recensement exhaustif* » [LEM 99]. Les méthodes analytiques de modélisation résultent de cette logique et font l'hypothèse de la fermeture du modèle (la possibilité de l'exhaustivité, de ne rien oublier). Elles prétendent que les effets s'expliquent par des causes clairement identifiables ; l'AMDEC est un exemple de ce type d'approche [VIL 88]. Comme nous l'avons souligné, la modélisation de l'accident par un modèle fermé censé être exhaustif ou pour lequel les composants sont disjoints serait réductrice et donc peu efficace. De plus, l'évolution du phénomène (qui est naturelle) s'oppose par nature au fait qu'il soit représenté par un modèle figé, qui n'évolue pas.

Une alternative à l'épistémologie positiviste s'est construite progressivement à partir des années trente : l'épistémologie constructiviste. D'après ce paradigme, « *rien n'est donné, tout est construit* » [BAC 78]. Selon cette épistémologie, celui qui modélise ne doit pas se limiter à percevoir le système et à recevoir les données qu'il tient pour réelles et exhaustives pour élaborer son modèle. Le comportement du système à modéliser se construit puisqu'il évolue. La modélisation est ainsi perçue comme une interaction entre celui qui modélise et le phénomène modélisé au cours de laquelle se construit une connaissance active de sa complexité. Sur cette épistémologie constructiviste s'est fondée la logique de conjonction. L'épistémologie constructiviste et la logique conjonctive ont été utilisées par plusieurs chercheurs (H.A. Simon, E. Morin, J.L. Le Moigne, etc.) pour étudier les systèmes complexes, ce qui a donné naissance à la méthode systémique pour la modélisation de ces systèmes.

A travers la littérature, nous avons noté l'absence d'une application de cette méthode pour l'analyse du phénomène de l'accident bien que l'utilisation du terme « analyse systémique » soit fréquente dans le domaine de l'accidentologie.

La modélisation systémique ou systémographie [LEM 77] [LEM 99] est une méthode qui fait la conjonction entre la fonction du système et sa transformation, entre son environnement actif et son projet téléologique (la téléologie est l'étude des processus de finalisation d'un système et désigne souvent aussi son résultat, autrement dit les finalités de ce système à chaque période [LEM 99]). Pour construire le modèle, nous nous sommes basés sur la méthode développée dans [LEM 99] en trois phases : le cadrage du modèle, le développement du modèle et la phase d'interprétation.

Nous avons utilisé le modèle général proposé dans Le Moigne qui intègre l'axiomatique conjonctive : il s'agit d'une conjonction systémique de deux conjonctions : la conjonction cybernétique et la conjonction structuraliste.

Le modèle comportemental du système accident ainsi développé [CI/03/29] identifie les différents points de vue d'analyse de l'accident de la route (figure 20). Il analyse l'accident de la route selon les quatre aspects suivants (se référer à [CI/02/8], [CI/03/4] et [CI/03/29] pour le détail des différents modèles) :

- L'aspect ontologique ou structurel (ce qu'est l'objet) : il représente les composants du système (conducteur, infrastructure, trafic, conditions ambiantes et véhicule), les différentes interactions entre ces composants ainsi que leur structuration ;
- L'aspect fonctionnel (ce que fait l'objet) : il représente le processus global du fonctionnement du système complexe CVE qui combine plusieurs procédures (régulation, saisie d'information, mémorisation, décision etc.) [VAN 97] ;
- L'aspect transformationnel et comportemental (comment évolue l'objet) : il décrit l'évolution du système CVE. Ce modèle intègre le modèle séquentiel et causal de représentation de l'accident développé par l'INRETS<sup>11</sup> [BRE 97]. Il représente l'accident à travers quatre étapes séquentielles (conduite normale, rupture (caractérisée par l'inférence d'un facteur accidentogène), urgence (situation pendant laquelle le conducteur doit entreprendre une manœuvre pour éviter le choc) et choc)
- L'aspect motivationnel ou téléologique (quel est l'objectif et la motivation du système) : il permet l'analyse de l'accident à travers l'objectif du conducteur lors de la conduite en général et lors d'un accident en particulier.

---

<sup>11</sup> Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité

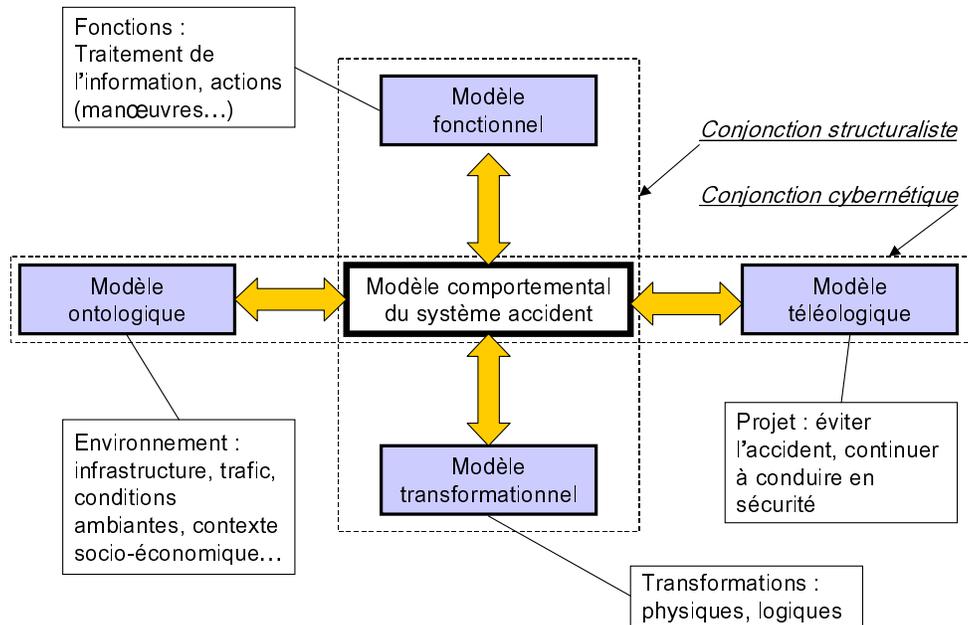


Figure 20. Conjonction systémique des différents modèles pour l'élaboration du modèle comportemental du système accident.

#### Interprétation multi vues des STA

L'utilisation des points de vue systémiques nous permet de représenter le même scénario selon différents modèles propres aux concepteurs et aux accidentologues.

Notre approche comporte les étapes suivantes :

1. Construction des modèles de représentation d'accidents selon chaque point de vue systémique ; par exemple, le modèle séquentiel de l'INRETS est assigné au point de vue transformationnel.
2. Décomposition de chaque modèle en un ou plusieurs concepts ; ainsi, « conduite normale », « rupture », « urgence » et « choc » sont les concepts composant le modèle séquentiel.
3. Caractérisation des concepts par un ou plusieurs attributs de la base de données. Un attribut peut caractériser plusieurs concepts de différents modèles ; par exemple, l'attribut « angle de direction » caractérise à la fois le concept « interaction conducteur – véhicule » dans le modèle CVE, le concept « urgence » dans le modèle séquentiel et le concept « action » dans le modèle de traitement de l'information. Nous appelons métadonnées cette classification des attributs en concepts, car il s'agit de données sur les données. La figure 21 montre l'utilisation de XML pour représenter les métadonnées et illustre l'affectation d'un attribut (ici : steering angle) à différents concepts.
4. Projection multi vues du scénario.



### 5.2.2. Approche ascendante

La deuxième proposition, complémentaire au travail précédent de modélisation, consiste à incorporer des connaissances expertes dans le processus d'extraction de connaissances à partir d'une base de données (ECB). Ces connaissances interviennent dans la phase de préparation des données, et celle d'interprétation des résultats (figure 23).

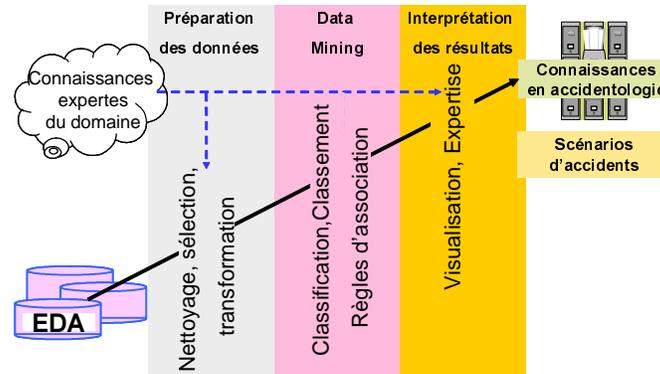


Figure 23. Incorporation des connaissances du domaine de l'accidentologie dans le processus d'extraction des connaissances de la base des EDA (Études Détaillées d'Accidents).

#### Préparation des données

Notre approche permet à l'expert d'effectuer une sélection multi vues des attributs selon les objectifs de son étude (voir un exemple figure 24 et l'interface réalisée figure 25).

(Ontologique  $\vee$  Fonctionnel  $\vee$  Transformationnel  $\vee$  Téléologique)  $\wedge$  (Conducteur/Véhicule  $\vee$  Conducteur/Environnement)  $\wedge$  (Situation de rupture  $\vee$  Situation d'urgence)  $\wedge$  (Perception  $\vee$  Diagnostic  $\vee$  Pronostic)

Figure 24. Requête de sélection d'attributs pour l'élaboration de STA pour l'étude de la perte de contrôle.

Sélection multi-vues des attributs			
Niveau des points de vue systémiques			
<input checked="" type="checkbox"/> Téléologique	<input checked="" type="checkbox"/> Ontologique	<input checked="" type="checkbox"/> Transformationnel	<input checked="" type="checkbox"/> Fonctionnelle
Niveau des modèles			
Mod. de la tâche Mod. pertinence Mod. fiabilité	Modèle CVE	Modèle séquentiel	Mod. trait. d'inf. Mod. influence
Niveau des concepts			
Les tâches <input type="checkbox"/> Tâche de Navigation <input type="checkbox"/> Tâche de Guidage <input type="checkbox"/> Tâche de Contrôle Sélection multi-niveaux de pertinence <input type="checkbox"/> Très pertinent <input type="checkbox"/> Peu pertinent <input type="checkbox"/> Pertinent <input type="checkbox"/> Pas pertinent <input type="checkbox"/> Plutôt pertinent <input type="button" value="Sélectionner tous"/> Sélection multi-niveaux de fiabilité <input type="checkbox"/> Fiable <input type="checkbox"/> Pas fiable <input type="checkbox"/> plutôt fiable <input type="checkbox"/> Peu fiable <input type="button" value="Sélection totale"/>	<input type="checkbox"/> Conducteur <input type="checkbox"/> véhicule <input type="checkbox"/> Environnement <input type="checkbox"/> Piéton <input type="checkbox"/> Impliqués/ Occupant <input type="checkbox"/> CVE <input checked="" type="checkbox"/> Cond / Envr <input checked="" type="checkbox"/> Cond / Veh <input type="checkbox"/> Cond / Piéton <input type="checkbox"/> Veh / Envr <input type="checkbox"/> Veh / Piéton <input type="checkbox"/> Envr / Piéton <input type="checkbox"/> CVEP	<input type="checkbox"/> Situation de conduite normale <input checked="" type="checkbox"/> Situation de rupture <input checked="" type="checkbox"/> Situation d'urgence <input type="checkbox"/> Situation de choc <input type="button" value="Sélection totale"/>	étapes de trait. d'inf. <input checked="" type="checkbox"/> Perception <input checked="" type="checkbox"/> diagnostic <input type="checkbox"/> Pronostic <input type="checkbox"/> Décision <input type="checkbox"/> Action <input type="button" value="Sélectionner tous"/> Type d'influence <input type="checkbox"/> Pilotabilité <input type="checkbox"/> Manoeuvrabilité <input type="checkbox"/> Perturbation <input type="button" value="Sélection totale"/>
<input type="button" value="Executer la projection"/>	<input type="button" value="Afficher le résultat"/>	<input type="button" value="Visualiser les histogrammes"/>	<input type="button" value="Sélection des variables"/>

Figure 25. Interface pour la sélection multi vues des attributs.

### Interprétation des résultats

Nous avons noté un manque de méthode générique traitant de l'interprétation des résultats issus du data mining. Nous proposons une interprétation intra-classe et une interprétation inter-classes.

L'interprétation intra-classe concerne une classe particulière résultant de l'application d'un algorithme de classification automatique. Des connaissances liées à l'interprétation statistique des résultats ont été formalisées sous la forme de requêtes (voir un exemple figure 26).

attribut_d-étude.modalité.Valeur_test > 2	OR
attribut_d-étude.modalité.Valeur_test <-2	AND
attribut_d-étude.modalité.poids_mod_dans_class > 30	
<b>a-pour-abstraction</b>	
attribut_d-étude.modalité.pertinence = 'discriminante et caractérisante';	

Figure 26. Exemple de règle pour la sélection de modalités discriminantes et caractérisantes pour la caractérisation des classes.

De plus, les variables de classification sont automatiquement projetées sur une « grille systémique » selon les différents modèles systémiques. Les méta-données permettent ainsi une lecture multi-vues et multi-niveaux d'abstraction des classes (figure 27).

	Conducteur	Véhicule	Environnement	Cond/Veh	Cond/Env	Env/Veh
<b>Modèle Ontol.</b>	Realisation_incor Changement_file gene_exterieur typacc=pilotabilite Activite_Annexe Droque_medicament mecdef=Panique fonddef>Action	Tonneau_reversement Obp=sol	atm=Clair/normal surf=Sec typlieu=H-Agg_ou_RD mask=Pas_de_masque Activite_Annexe Section_courante	prob_contrôle_veh surf=Sec Perte_contrôle_trans	Guidance_infrastr surf=Sec Changement_file	Obp=sol surf=Sec Vehicule_se
<b>Modèle Transf.</b>	Etat long terme LT	Cond. normale CT	Rupture	Urgence	Choc	
		atm=Clair/normal surf=Sec typlieu=H-Agg_ou_RD Section_courante	prob_contrôle_veh Guidance_infrastr mask=Pas_de_masque Realisation_incor Vehicule_seul Changement_file Activite_annexe	mecdef=Panique	Obp=sol surf=Sec Tonneau_reversement Obp=sol Hors_chaussee	
<b>Modèle Fonct.</b>	Perception	Diagnostique	Pronostique	Décision	Action	Globale
	mask=Pas_de_masque			mecdef=Panique	fonddef>Action Realisation_incor Perte_contrôle_trans	Activite_annexe Droque_medicament/for
<b>Modèle Téléo.</b>	Navigation	Guidage latéral	Guidage longit.	Contrôle latéral	Contrôle long	
	mask=Pas_de_masque	Guidance_infrastr Section_courante	Guidance_infrastr	Perte_contrôle_trans Tonneau_reversement		

Figure 27. Exemple de projection d'une classe sur la grille systémique.

Enfin, l'expert accède automatiquement à la description textuelle des trois accidents les plus proches du centre de la classe.

Cette interprétation intra-classe conduit à une amélioration de la qualité de l'interprétation et à une réduction très sensible de son coût. Elle fournit un modèle commun au concepteur et à l'accidentologiste.

L'interprétation inter-classes est basée sur les treillis de Galois [BAR 70] qui, grâce à la dualité objet/attribut de leur représentation, offrent un moyen efficace pour exprimer les dépendances inter-classes, inter-attributs et entre les classes et les attributs.

Nous avons en effet remarqué que les experts essaient de comprendre une classe en la comparant aux autres classes. Ceci leur permet de trouver les classes les plus proches, de regrouper certaines classes et de voir ce qui discrimine la classe étudiée des autres classes.

### 5.3 Bilan scientifique et perspectives

L'approche descendante systémique proposée permet de donner un cadre à la construction d'un schéma de domaine multi-vues et multi-niveaux de granularité. Elle pallie deux limites d'approches telles que CommonKADS [SCH 94], [SCH 99] : le mélange de concepts portant sur des aspects systémiques différents et l'absence de modèle suffisamment général pour guider l'explicitation de modèles et éviter le risque d'incomplétude.

Ainsi, nous avons pu mettre en évidence des manques de données dans les EDA relativement à certains aspects systémiques.

Concernant l'approche ascendante, nous avons incorporé les modèles des experts dans le processus d'extraction des connaissances de données.

Nous avons défini une interprétation intra-classe qui consiste à comprendre et à trouver une « bonne » caractérisation d'une classe donnée en utilisant la grille systémique et une interprétation inter-classes qui consiste à comprendre une classe en la comparant avec les autres en utilisant les treillis de Galois.

D'autres approches, non détaillées ici, ont porté sur l'analyse d'impact de changement et sur l'évaluation de modèles de connaissances.

Ce travail a fait l'objet d'un contrat de recherche avec Renault (Laboratoire d'Accidentologie, de Biomécanique et d'études du comportement humain (LAB PSA – Renault)) en relation avec le Centre Européen d'Étude sur la Sécurité et l'Analyse de Risques (CEESAR) ; il a été mené par Mr Walid Ben Ahmed qui a soutenu sa thèse de Doctorat le 17/01/2005 [BEN 05].

### 5.4 Démarche d'intégration de modèles

La démarche déployée dans ce travail est proche du modèle intégré proposé par Chen [CHE 03]. Dans cette démarche, l'intégration s'effectue par dérivation d'un modèle de référence.

Nous avons construit ce modèle de référence en nous basant sur l'approche systémique, puis nous avons intégré les modèles des experts et ceux de la base de donnée (figure 28).

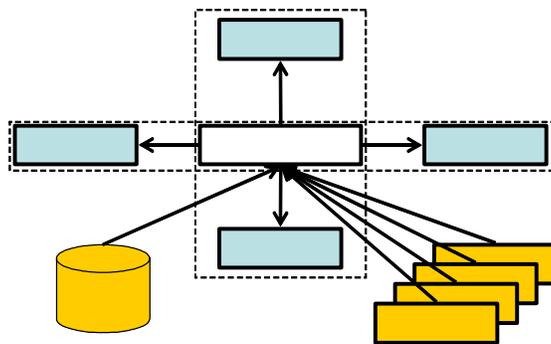


Figure 28. Intégration de modèle à partir d'un modèle de référence.

Cette approche est générique et indépendante du domaine, et s'adapte aux cas où le phénomène étudié est complexe et caractérisé par des attributs dans une base de données. Dans le cas contraire, les attributs peuvent être remplacés par des ontologies du domaine pour instancier les sous-modèles systémiques. En effet, l'approche a été utilisée au LAB, et est actuellement appliquée chez Renault pour la définition d'ontologie multi-vue des systèmes de sécurité embarqués dans les véhicules. Une utilisation pour la formation des nouveaux recrutés en accidentologie est également envisagée.

---

## 6. Mémoire de projet de conception

---

### 6.1. Contexte

Ce travail porte sur la définition d'une architecture de domaine (framework) [DSO 99] qui est, à l'instar des schémas de conception (pattern) vus précédemment, un composant réutilisable par adaptation et instantiation, mais de granularité plus élevée que celle des patterns ; il s'agit d'un ensemble de classes génériques relatives à un domaine particulier.

Nous avons utilisé cette approche dans le cadre de la mémoire de projet de conception de produit de haute technologie.

Cette mémoire de projet a été instanciée dans le domaine des projets de conception préliminaire de turbo-pompes de fusées Ariane suite aux travaux d'Olivier Cantzler (logiciel ELACT (Environnement Logiciel d'Aide à la Conception de Turbo-pompe [CAN 97]) à la SEP<sup>12</sup> et au CNES<sup>13</sup>. Le champ couvre la définition des spécifications, le choix de configuration et la définition de l'architecture. Ces phases concernent la pré-conception globale et la pré-conception détaillée du produit.

Outre les aspects techniques, la mémoire de projet de conception de produit doit couvrir le processus de conception dans sa globalité en prenant en compte de manière cohérente les aspects liés au produit lui-même et ses différentes versions, mais aussi le management du projet, c'est à dire les informations relatives aux acteurs et leur organisation [HAR 97], [MAT 99], [SEL 99], [GZA 00/1], [SIM 01], [GAR 01], [ELL 02],[GAR 03], [GZA 03/1].

Un projet de conception peut être considéré comme un processus de prises de décisions convergent ; aussi, la mémoire de projet doit préserver l'ensemble des décisions avec leurs justifications souvent liées au contexte. Il peut arriver par exemple que, dans le cadre d'un projet, une solution rejetée pour des raisons d'immaturation devienne acceptable dans un projet ultérieur suite à des évolutions technologiques. Il est donc souhaitable de capitaliser également les solutions non retenues et les raisons de leur abandon.

Cette problématique est d'actualité dans les entreprises soucieuses de capitaliser les connaissances [DUD 03]. L'objet de ce travail est de fournir un cadre de modélisation pour le concepteur d'une mémoire de projet adaptée à la conception de produit (bien ou service). Cette mémoire est renseignée et utilisée par les concepteurs de produits (utilisateurs de la mémoire de projet).

### 6.2. Contribution

#### 6.2.1. Architecture en trois niveaux

En référence aux niveaux de modèles proposés par l'OMG et par analogie aux travaux précédents relatifs au référentiel, nous nous sommes appuyés sur une architecture en trois niveaux (figure 29) : le niveau M0 est celui des « objets » du monde réel (produit, ressources matérielles et humaines, ressources de calcul, modèle CAO, documentation...), le niveau M1 est celui des modèles des objets précédents et constitue la mémoire de projet (il structure l'information pertinente) et le niveau M2 est celui de l'architecture de domaine (c'est le niveau le plus générique).

---

<sup>12</sup> Société Européenne de Propulsion

<sup>13</sup> Centre National d'Études Spatiales

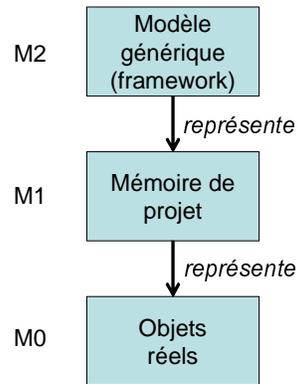


Figure 29. Architecture en trois niveaux du système d'information.

### 6.3.2 Structuration des modèles en paquetages

Le système d'information de la mémoire de projet de conception est conçu pour prendre en compte de nombreux aspects qui ont été structurés à l'aide de paquetages (figure 30) afin d'améliorer la lisibilité du framework.

Ces paquetages sont : *Produit* (décomposition structurelle du produit), *Fonction* (spécifications que le produit doit satisfaire), *Processus* (décomposition en différentes étapes), *Organisation* (structure de l'équipe de projet), *Documentation* (gestion de la structure, du contenu, de la justification technique de tous les items de documentation tels que croquis, textes, références), *Acteurs* (gestion des intervenants du projet, droits d'accès), *Connaissance* (structuration de différents niveaux de connaissances) et *Corps* (pour gérer les attributs communs et les relations entre classes, ainsi que les vues).

Le paquetage *Corps* permet de suivre l'évolution de tout objet, contrainte sur un objet et historique des relations entre objets. Par exemple, un rotor est un composant d'une turbopompe ; une nouvelle version du rotor entraîne la création d'une nouvelle version de turbopompe.

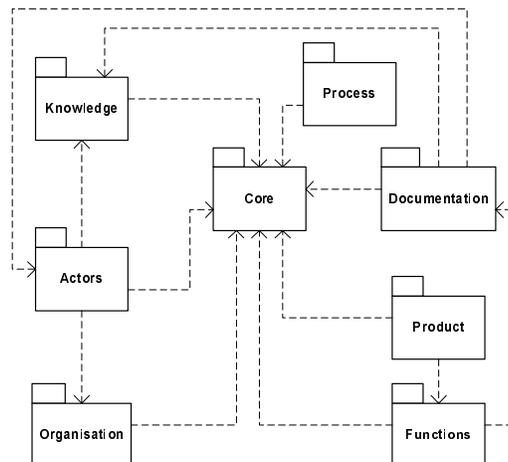


Figure 30. Structuration en paquetages des éléments du framework.

Le système d'information permet de gérer toutes les versions du produit. Il permet de « tracker » (garder des traces permettant de retrouver l'origine d'un item du projet) principalement les représentations, les choix, les décisions et leurs justifications. C'est à l'utilisateur de choisir ce qu'il est pertinent de mémoriser, par exemple s'il est ou non utile de conserver l'historique de la structure du produit.

### 6.3.3 Modèles réalisés

Nous présentons dans cette section quelques uns des modèles génériques UML réalisés pour illustrer le principe de fonctionnement de la mémoire de projet.

Nous avons observé que la structure d'arbre ou d'arborescence est souvent utilisée pour représenter par exemple une décomposition de produit, un organigramme ou la décomposition d'un projet (WBS<sup>14</sup>). Nous avons donc utilisé le schéma de conception figure 31 qui décrit une telle structure par un nœud racine *RootElement* et des autres nœuds *Element* pouvant être décomposés à l'infini.

Ce schéma peut être adapté selon qu'un nœud est ou non partageable par plusieurs nœuds de niveau supérieur, en modifiant la nature des relations (agrégations et non compositions).

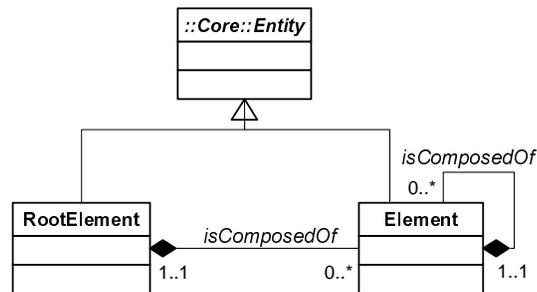


Figure 31. Schéma de conception d'une structure arborescente.

#### Modélisation des organisations

La figure 32 est un diagramme de classes UML permettant de représenter une organisation constituée de ressources humaines (classe *HResource*) représentant un service ou une équipe et pouvant être elles-mêmes décomposées jusqu'au niveau d'un individu si nécessaire.

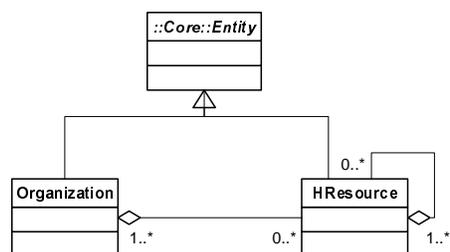


Figure 32. Diagramme de classes UML pour la description d'une organisation.

<sup>14</sup> Work Breakdown Structure

Dans ce modèle les associations « tout – partie » sont des agrégations car une ressource peut être partagée entre plusieurs organisations. C’est le cas dans l’exemple d’organisation matricielle figure 33a où une même ressource appartient à la fois à son service d’origine et un ou plusieurs projets ; la figure 33b fournit le diagramme d’objets correspondant.

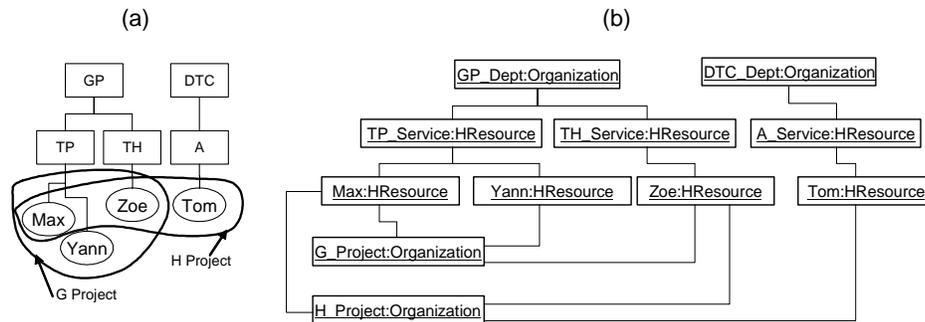


Figure 33. Organisation matricielle (a) et diagramme d’objets UML correspondant (b).

### Modélisation des processus

Le schéma de conception précédent est utilisé pour représenter des processus décomposés en phases pouvant elles-mêmes être décomposées (figure 34).

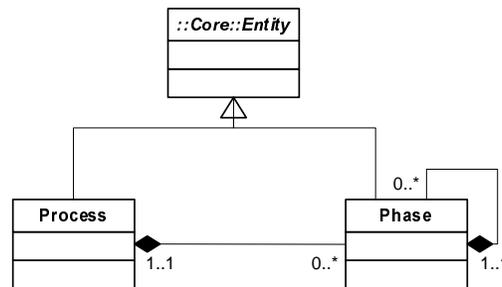


Figure 34. Diagramme de classes UML pour la description d’un processus.

Les associations sont ici des compositions car une phase n’appartient qu’à un processus ou à une phase mère, et la suppression d’une phase entraîne celle des phases filles.

Le diagramme d’objets figure 35 est une instantiation dans le cas d’un projet de turbopompe.

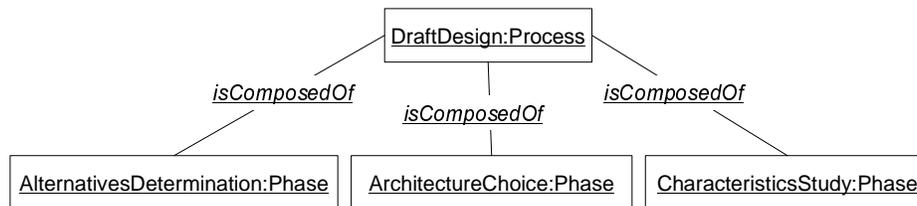


Figure 35. Diagramme d’objet partiel pour la description d’un processus.

Toutefois ce diagramme n’indique aucune relation temporelle entre phases ; ceci fait l’objet de la section suivante.

## Administration des relations entre entités

Ces relations sont de différentes natures (figure 36) ; elles sont définies entre deux ou plusieurs entités et permettent de relier des objets de toute nature.

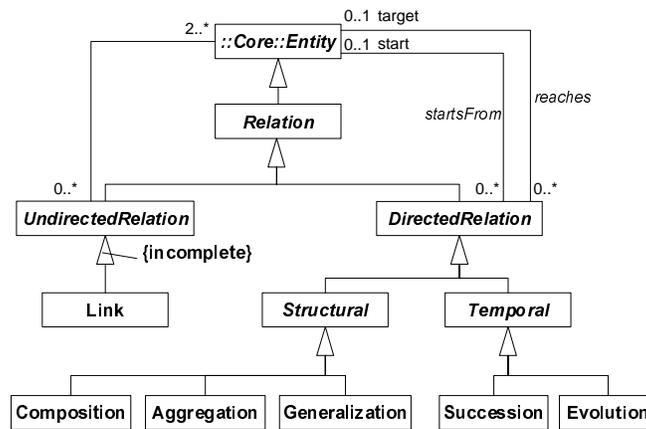


Figure 36. Diagramme de classes représentant les relations entre entités.

Nous pouvons représenter un simple lien entre entités, par exemple entre une ressource humaine et une phase de processus ; une telle relation n'est pas orientée.

Des relations structurelles orientées telles qu'une composition ou une agrégation peuvent également être représentées, ainsi qu'une généralisation.

Enfin, des relations temporelles peuvent être indiquées (figure 37). Il peut s'agir d'une succession entre objets, par exemple la phase d'étude des caractéristiques suit chronologiquement la phase de définition d'architecture. Un autre type de relation temporelle est prévu : la relation d'évolution, de manière à conserver l'historique de configurations ; par exemple, l'utilisateur peut souhaiter mémoriser qu'un acteur était responsable d'une phase jusqu'à une date donnée, et qu'il a ensuite été remplacé par un autre acteur.

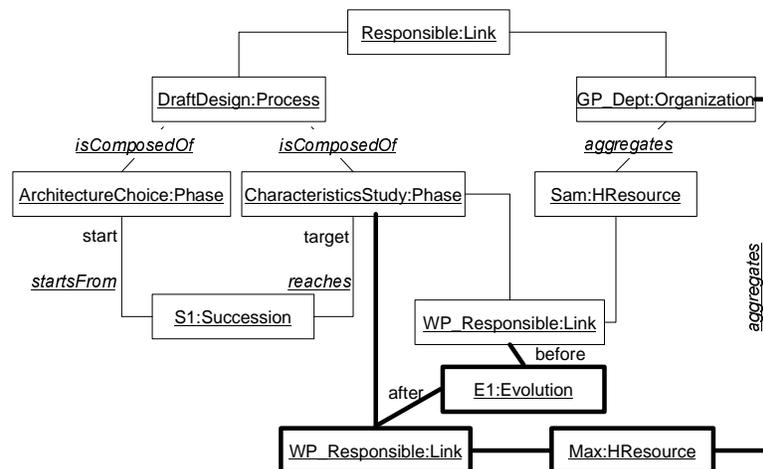


Figure 37. Diagramme d'objets illustrant des relations entre entités.

Nota : Dans l'exemple figure 37, les liens *isComposedOf* et *aggregates* ne sont pas des instances des classes *Composition* et *Aggregation* de la figure 36, mais résultent de l'instanciation des figures 34 et 32 ; l'évolution de ces relations ne peut donc être « trackée » par l'utilisateur.

### Spécifications fonctionnelles et choix techniques

Du point de vue fonctionnel, le cycle de vie du produit comporte les étapes suivantes : spécification des fonctions, définition d'une architecture globale, recherche et choix de solutions techniques locales.

La spécification des fonctions utilise les concepts de l'analyse fonctionnelle [MIL 61] [DUP 91] [MON 92] [CHA 94] [CON 96] [EN-12973 00] [BER 00-2] [APT 00] [LON 01] [MEN 02] qui ont été repris dans le diagrammes de classes figure 38 (se référer à [CI/04/3]).

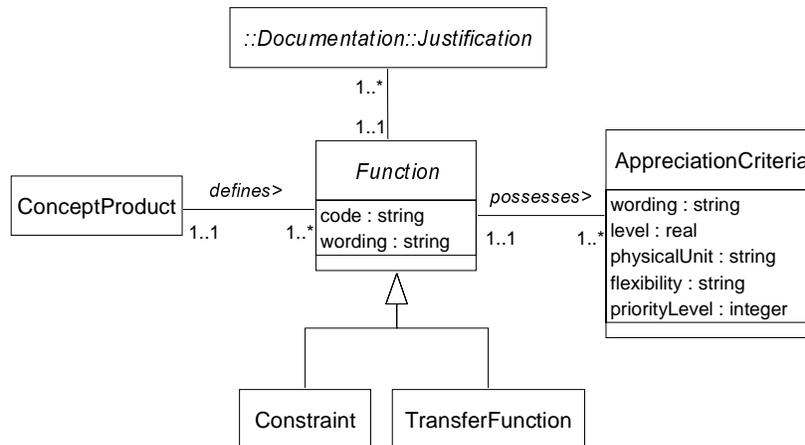


Figure 38. Diagramme de classes des fonctions liées à un produit.

Un aspect de notre contribution à la mémoire de projet de conception porte sur un modèle générique de cycle de vie de produit intégrant dans la partie pré-conception une méthode de conception fonctionnelle et des méthodes d'innovation intuitives et systématiques.

Cette démarche qui tire son origine de méthodes de résolution de problèmes a été appliquée à des problématiques d'entreprise ainsi que dans des projets de conception et réalisation de produit innovant menés par des élèves de Centrale Lille. Une application informatique support à cette démarche a été développée par le Professeur Pascal Yim (LAGIS).

Ces travaux s'inscrivent dans le thème « Innovation et expertise métier » animé par Mr Lionel Roucoules au sein du GT IS3C, qui avait été initié par le Professeur Philippe Lutz (voir à ce sujet [TOM 03]) ; ils s'appuient en partie sur les démarches d'analyse de la valeur, thème « Valeur, indicateur, évaluation et décision » animé par Mr Bernard Yannou dans le GT IS3C.

### Documentation

Notre système d'information comporte un paquetage pour la gestion de la documentation d'un projet de conception.

Chaque item de documentation (chapitre, paragraphe, élément de texte, croquis, etc.) peut être rattaché à une justification elle-même basée sur une connaissance.

Les connaissances sont catégorisées selon leur portée : au niveau du projet seul, ou d'un domaine, ou génériques ou encore épistémologiques.

### 6.3.4 Maquette informatique

Une maquette a été réalisée selon une architecture deux-tiers : une interface client développée avec java/Swing API, et une base donnée Oracle qui permet (figure 39) le stockage des données dans des tables objet relationnel, le filtrage des données avec les vues objet et la gestion des données avec des procédures stockées.

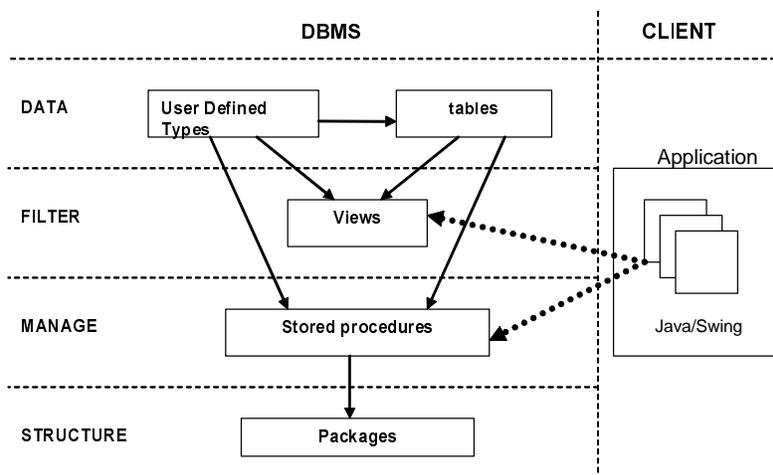


Figure 39. Architecture générale de l'application informatique développée.

Toutefois cette architecture conduit à une application totalement intégrée, difficilement connectable à d'autres applications. Une nouvelle architecture n-tier découplant les aspects métier des fonctionnalités de présentation est en cours d'implémentation ; elle rend la mémoire de projet inter opérable avec d'autres outils, par exemple les logiciels de CAO. Notre participation à InterOp nous a permis de montrer que le choix judicieux d'une architecture informatique peut contribuer à l'interopérabilité des applications.

### 6.3 Bilan scientifique et perspectives

Contrairement à l'approche proposée dans le travail sur le référentiel, nous ne disposions pas initialement de modèles d'experts (chef de projet, concepteur, responsable des coûts, etc.).

L'approche a donc consisté, à partir d'un besoin plus abstrait, à définir un cadre générique permettant de gérer des concepts et les liens entre ces concepts, selon des vues structurelle (ontologique), fonctionnelle, temporelle (génétique), afin de préserver la mémoire des éléments pertinents du domaine.

Il en résulte une architecture de domaine (framework) générique pouvant être instanciée dans le cadre d'une application particulière. La démarche d'adaptation des modèles du framework vers des modèles implémentables reste à formaliser ; elle est de même nature que le passage des PIM vers des modèles PSM qui constitue l'un des livrables d'InterOp.

Un outil a été réalisé ; il a permis de montrer la faisabilité de la démarche proposée.

Plusieurs communautés s'intéressent aux mémoires de projets et au management des connaissances. Nous pouvons citer en particulier le GT C2EI (Modélisation et pilotage des systèmes de connaissances et de compétences dans les entreprises industrielles) du GDR MACS, le GT IS3C ainsi que le KnowledgeBoard<sup>15</sup>. On trouvera dans [DIE 01] un chapitre

<sup>15</sup> The European KM Community ; <http://www.knowledgeboard.com/> [MEK 03]

consacré à différentes approches pour la mémoire de projets (voir également [OUA 98], [OUA 99], [EYN 99], [LAB 02]). Plus récemment, un projet RNTL « IPPOP » a été réalisé qui intègre les modèles de produit, processus et organisation. Notre contribution porte essentiellement sur la généricité du framework et le large champ couvert par les modèles proposés.

Ce travail a été mené conjointement avec Mrs Mounib Mekhilef, Jean-Pierre Bourey et Barthélémy Longueville [LON 03]. Il fait l'objet actuellement du travail de thèse de Doctorat de Mr Hatem Ben Sta en association avec l'ENSI de Tunis.

La mémoire de projet concerne a priori la conception routinière. Une extension de ce travail de déclinaison de modèle générique a été réalisée avec le Professeur Pascal Yim dans le domaine de la conception innovante. La démarche proposée [CI/03/17] [CI/05/10] s'inspire des méthodes de résolution de problème ; nous intégrons les modèles du spécificateur (le client) et du concepteur – technologue. Cette partie a été intégrée à la mémoire de projet pour permettre la traçabilité des spécifications.

#### 6.4 Démarche d'intégration de modèles

L'approche présentée dans cette section est descendante. Une architecture de domaine a été définie pour donner lieu à différentes instanciations selon le contexte (figure 40). Cette architecture peut donc servir de base au développement de plusieurs applicatifs pour la gestion de mémoires de projets.

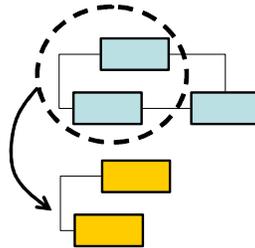


Figure 40. *Approche descendante par instanciation d'architecture de domaine.*

Les limites d'une telle approche sont celles de la rigidité d'une base de données : même si celle-ci est bien conçue au départ, il est fort probable que les utilisateurs seront amenés à formaliser de nouveaux besoins pouvant conduire à une remise en cause de la structure des tables. Une telle modification représente une charge de travail lourde.

Nous étudions actuellement l'apport des ontologies qui permettraient d'éviter de telles modifications. Les ontologies complètent notre proposition en offrant à l'utilisateur un accès unique à la fois de la mémoire de projet et à ses applicatifs métiers.

Par exemple, le responsable des coûts pourra utiliser de manière transparente la décomposition du produit spécifiée dans la mémoire de projet et différents catalogues de coûts qu'il utilise dans son domaine pour calculer le coût prévisionnel total du produit. Les ontologies contribuent donc à l'intégration des modèles selon une approche que Chen [CHE 03] appelle « modèle fédéré » (figure 41).

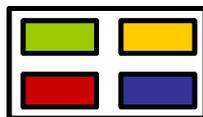


Figure 41. *Intégration de modèles selon une approche fédérée.*

L'intérêt des ontologies ne se limite pas à donner à l'utilisateur un accès unique à différents applicatifs. Elles permettent également, par des mécanismes d'inférence, d'établir de nouvelles relations qui n'étaient pas prévues initialement.

Ainsi, il est possible de procéder notamment à des généralisations sans remettre en cause la structure des tables de la base de données. Par exemple, après avoir mené un projet « voiture » puis un projet « avion », en constatant que certains attributs sont communs (capacité, autonomie...), il est possible d'identifier une classe abstraite « véhicule » porteuse de ces attributs communs, et dont héritent les classes voiture et avion. Les ontologies nous permettront d'identifier une telle généralisation et donneront à l'utilisateur un comportement du système d'information identique à celui qu'il aurait si cette classe abstraite existait.

Il sera également possible, à l'aide des ontologies, de lancer des requêtes multi bases pour répondre à des questions comme : « Quels sont les éléments comportant de l'amiante ? ». Ceci est rendu possible grâce aux architectures « médiateur centralisé ».



## Perspectives de recherche

### 1. Positionnement des thèmes de recherche

Les travaux menés jusqu'à présent ont porté sur l'intégration de modèles ; plusieurs méthodes ont été proposées : modèle cumulatif, modèle convergent, modèle unifié, modèle intégré, modèle d'architecture de domaine, et plus récemment modèle fédéré.

Ces méthodes ont été appliquées à différents aspects de l'ingénierie des systèmes de conception : la conception automatique de produits, l'ingénierie de développements informatiques, la conception des systèmes automatisés de production, la spécification de produit et la mémoire des projets de conception de produit.

Les futurs travaux s'attacheront à conserver cette cohérence d'intégration de modèles de différents acteurs pour une problématique de conception de système, et s'inscriront dans la vision d'une démarche intégrée du cycle de conception de produit dans sa globalité, prenant en compte l'ensemble des processus qui gravitent autour (veille, production, vente, recyclage...). La problématique reste donc inchangée (mais elle couvre un domaine très vaste), et nous proposons de l'aborder avec de nouveaux outils liés aux nouvelles technologies, et en élargissant le champ plus en amont, avec des travaux liés aux exigences, et plus en aval avec la prise en compte d'une démarche projet davantage intégrée et plus en lien avec les exigences. Une approche système semble nécessaire pour appréhender les multiples dimensions d'une telle problématique.

Les thèmes dans lesquels s'inscrivent ces futurs travaux dans le domaine de la conception de produit portent plus particulièrement sur :

- L'ingénierie des exigences ;
- L'ingénierie de l'innovation ;
- L'ingénierie de projet ;
- L'ingénierie des connaissances.

Ces quatre ingénieries contribuent à une même dynamique d'ingénierie des systèmes de conception, et peuvent utiliser des outils communs. On ne peut aborder l'une sans prendre en compte les autres, tant elles s'interpénètrent. L'ingénierie des connaissances possède un statut particulier, car elle constitue en quelque sorte la colonne vertébrale de l'approche dans son ensemble, du fait de son caractère transversal (figure 42).

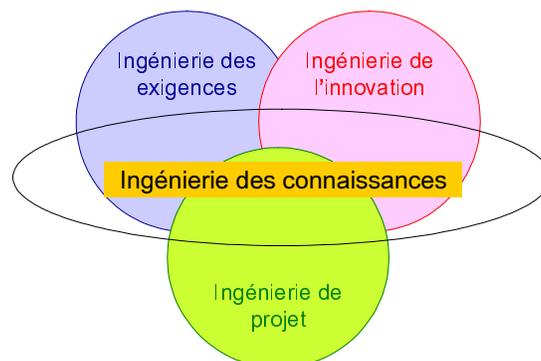


Figure 42. Positionnement relatif des quatre thèmes proposés.

Chacun de ces thèmes offre de nombreuses pistes de développement en recherche, et nous proposons, dans une démarche prospective, d'en identifier quelques unes.

## 2. Ingénierie des exigences du produit

Ce thème concerne non pas le cahier des charges, qui traditionnellement<sup>16</sup> décrit déjà une solution, mais la déclinaison du besoin à satisfaire en objectifs et critères.

Les premières étapes du cycle de vie consistent à formaliser les exigences auxquelles doit répondre le produit<sup>17</sup>. Or la spécification de ces exigences repose le plus souvent sur une culture métier qui s'appuie en partie sur des modèles implicites (vocabulaire employé, modalités organisationnelles, règles de calcul...). Par ailleurs, les acteurs ne se donnent pas nécessairement les moyens de spécifier rigoureusement les besoins, car il s'agit d'un exercice laborieux et difficile, nécessitant un certain degré d'abstraction.

Il en résulte que les spécifications s'avèrent souvent incomplètes, ambiguës, entachées de détails inutiles ou de sur-spécifications pouvant orienter d'emblée vers une solution particulière. Ceci peut conduire le produit réalisé à ne pas répondre au véritable besoin du client, nuire à la valeur de la solution retenue, et créer par conséquent des conflits entre acteurs.

De plus, les spécifications ont souvent un caractère évolutif au cours du cycle de conception, qu'il convient de maîtriser, notamment par une analyse de l'impact de ces évolutions.

Il est donc intéressant, en prenant appui notamment sur les travaux relatifs à l'ingénierie des exigences (requirements engineering) et sur les langages de modélisation issus du génie informatique, de se doter d'une sémantique pour spécifier les exigences.

Les problématiques auxquelles nous nous intéressons sur ce thème sont :

- La traduction des langages métier pour en extraire les exigences formelles claires, exhaustives, juste nécessaires et non ambiguës ; les travaux engagés dans le cadre du TG2 d'InterOp abordent cette problématique, et nous avons déjà contribué à l'étude des apports d'UML 2.0 pour la modélisation d'entreprise et la transformation de modèles en collaboration avec l'Université Jaume I ;
- La maîtrise de l'évolution des spécifications ; compte tenu des impératifs de réactivité des entreprises, ces évolutions doivent être considérées comme normales, mais leur impact en termes économiques et de délai de livraison doit être évalué en temps réel.

Les nouvelles technologies peuvent être d'un certain secours dans ce type de problématique. Par exemple, et sans que cela ait un caractère exhaustif, il est possible d'utiliser les outils du « web sémantique » [FRA 04] (utilisant des langages pour représenter des ontologies) afin d'asseoir la démarche intégrée proposée.

Ces travaux peuvent trouver des terrains d'application très variés, comme la conception de logiciels ou la conception de produit mécanique.

Ce thème s'inscrit dans des approches telles que celles proposées par [NUR 00] [COL 01/1] [COL 01/2] [ROL 03] [YAN 01] [PET 04], et peut bénéficier des apports de la communauté

<sup>16</sup> A part en analyse fonctionnelle externe, où le cahier des charges fonctionnel du besoin porte bien sur le besoin et non la solution.

<sup>17</sup> En disant cela, on écarte les approches que l'on peut qualifier de « a-méthodiques » qui consistent en quelque sorte à réaliser sans concevoir.

qui s'intéresse au « Requirements Engineering » ainsi que sur les travaux d'InterOp sur les ontologies [MIS 04/1], [MIS 04/2] et le TG2 (Model Driven Interoperability).

### 3. Ingénierie de l'innovation

---

Les spécifications étant établies, il s'agit de proposer des solutions qui vont y répondre et de retenir par une démarche rigoureuse celle qui est la plus appropriée. La tendance naturelle pour le concepteur consiste à s'orienter vers des solutions éprouvées qu'il maîtrise. Il débouche ainsi sur des produits peu innovants et souvent peu compétitifs. Par ailleurs, du fait de la multiplicité des acteurs intervenant dans un processus de conception, on constate que des décisions rationnelles prises séparément peuvent parfois conduire à une solution globalement mauvaise.

L'approche à développer vise à doter une organisation d'une culture de l'innovation et du partage de modèles de connaissances et de points de vues entre acteurs possédant des compétences complémentaires, et ouverts à l'environnement.

Des questions de recherche découlent de cette problématique :

- Production par un ensemble d'acteurs des solutions potentielles innovantes en grand nombre ;
- Evaluation de la qualité, du coût, de la valeur, du risque de ces solutions en regard des critères à satisfaire et des contraintes à respecter ;
- Prise en compte simultanément du produit et du processus de production.
- Evaluation d'une organisation quant à sa capacité d'innover.

Les travaux à mener peuvent s'appuyer sur des méthodes d'innovation systématiques et intuitives, sur la gestion des connaissances avec la prise en compte du développement durable. Ils consistent à développer des démarches et outils de génération d'idées, de propagation de contraintes dans le domaine de l'incertain, des métriques d'évaluation, des démarches de modélisation de processus mettant en évidence les manques éventuels. L'apport méthodologique ne doit pas imposer aux acteurs des carcans stérilisants, mais permettre de construire des cheminements les aidant à utiliser de manière optimale les ressources disponibles (internet, intranet, outils de génération de solutions...). Il s'agit en quelque sorte de mettre un peu d'ordre, ou au moins de méthode, dans l'utilisation des outils actuels.

Ce travail requiert des compétences relevant du génie informatique et de l'intégration de modèles ; le champ d'application est notamment celui de la conception de produit.

Il s'inscrit dans des approches telles que [CI/03/17], [MAS 00], [ALT 88], [GEN 98], [OZE 99], [TOM 02], et auxquelles s'intéressent notamment la Design Society<sup>18</sup>, le GT IS3C et la communauté AIP-Priméca.

### 4. Ingénierie de projet : méthode et pilotage agile

---

A partir d'une solution retenue, il s'agit de procéder à la conception fine du produit, sa réalisation et sa mise sur le marché. Les délais sont toujours plus courts, et une organisation

---

<sup>18</sup> Société savante dans le domaine de la conception de produit ; <http://www.designsociety.org>

sans faille doit être mise en œuvre pour assurer la qualité du produit. Des événements imprévus vont fatalement apparaître.

Les questions de recherche auxquelles nous nous intéressons portent sur :

- L'amélioration de la productivité des équipes de projet ;
- La conception du processus de projet (choix d'organisation), sa formalisation, son évaluation, sa validation, sa maîtrise ;
- La maîtrise des risques dus aux aléas ;
- L'assurance du respect des exigences par les différents acteurs.

Les travaux à mener consistent à fournir un apport méthodologique d'une part dans le montage de projet, et d'autre part dans le pilotage de son exécution, adaptable au contexte socio-technique (pilotage agile). Pour cela, une structure générique peut être proposée couvrant l'ensemble des fonctionnalités requises pour la mise en œuvre d'une démarche de projet, et pouvant accueillir des méthodes et outils adaptés au contexte (espaces collaboratifs, moteurs de recherche, gestion électronique de documents...). En effet, sur le plan technologique, les « briques de base » existent déjà ; la difficulté est de les assembler. Il est donc nécessaire de formaliser les démarches permettant de mettre en œuvre ces « briques » dans un objectif donné.

Ces travaux peuvent prendre un appui théorique sur l'ingénierie système, et les travaux récents sur le management du cycle de vie du produit (Product Lifecycle Management). Ils peuvent être mis en œuvre aussi bien sur des projets de développement informatique que dans le domaine de la conception mécanique.

Ils s'inscrivent dans des préoccupations telles que celles abordées dans [CAS 99], [RI/00/1], [MAR 02], [LAR 03], [GAL 03], les travaux du réseau d'excellence InterOp, et les actions menées au sein des communautés AIP-Priméca, GT IS3C et GT ECI (Entreprise Communicante et Interopérabilité) du GDR MACS. Ils s'appuient également sur les contributions des communautés scientifiques s'intéressant au BPM (Business Process Modeling) et aux CSCW (Computer Supported Collaborative Work).

## **5. Ingénierie des connaissances**

---

Ce thème constitue une sorte de « fil rouge » des trois autres, et sera appréhendé davantage comme support à la démarche globale plutôt qu'en tant qu'objet de recherche.

Les connaissances font partie du capital immatériel de l'entreprise ; elles constituent l'une des clés de sa compétitivité. L'ingénierie des connaissances apparaît clairement comme une problématique transversale à l'ensemble de l'acte de concevoir.

Nous retrouvons des questionnements classiques en ingénierie des connaissances, notamment :

- La création, l'identification, l'extraction, la caractérisation, la préservation, la diffusion des modèles de connaissance ;
- La gestion de leur cycle de vie.

L'une des véritables questions est la transparence pour le concepteur de la mémoire du projet de conception. En d'autres termes, il s'agit de lui offrir un service sans alourdir sa charge de

travail. Dans ce domaine, des propositions peuvent être faites pour la réutilisation d'éléments de projets antérieurs, ainsi que sur la post-évaluation de projet.

Ces travaux peuvent s'appuyer sur les méthodes de capitalisation dédiées à la mémoire de projet, mais également sur les méthodes d'extraction des connaissances de bases de données. La conception de produit, quelle qu'en soit la nature, constitue un champ d'application.

Ces travaux s'inscrivent notamment dans les actions du groupe de travail C2EI (Modélisation et pilotage des systèmes de connaissances et de compétences dans les entreprises industrielles) du GDR MACS.

---

## 6. Plan de travail

Tous les thèmes de recherches évoqués précédemment ouvrent un champ très large de possibilités. L'objet de cette section est de préciser plus concrètement ce que seront nos priorités.

La présentation de ces thèmes peut laisser supposer qu'il existe des liens de précedence entre eux. En réalité, s'il nous semble essentiel de conserver en arrière-plan la trame générale des travaux à venir, l'ordre dans lequel ils peuvent être abordés laisse un certain degré de liberté.

Les orientations seront naturellement liées aux possibilités de financement que nous pourrions obtenir. De ce point de vue, il nous semble important de pouvoir alterner des sujets en lien direct avec le monde de l'entreprise (tout en veillant à la genericité des approches adoptées) et donc financés par celles-ci, et des sujets plus théoriques qui peuvent être financés par les institutions nationales ou européennes. Cette dimension a un impact sur l'ordre dans lequel nous comptons aborder les thèmes proposés.

La prochaine thèse que nous lançons en 2005 en convention CIFRE avec la société Syllis porte sur l'ingénierie des exigences et l'ingénierie de projet. Elle concerne la mise en place de processus d'industrialisation de développements informatiques avec travail collaboratif. Elle intègre des problématiques de modélisation des coûts, de traçabilité des spécifications, de plateforme collaborative et de modélisation de processus projet. Cette thèse sera réalisée par Mr Anis Ferchichi.

---

## 7. Objectifs et conclusion

Nous avons contribué, sous la direction du Professeur Jean-Pierre Bourey, à lancer l'ERGI. Une demande est actuellement en cours d'instruction pour une intégration officielle au LGI de centrale Paris, Centrale Lille intervenant en tant qu'établissement secondaire. Il est maintenant nécessaire d'étoffer l'équipe d'encadrement.

Les thèmes de recherche proposés comme perspectives concernent deux des thématiques du laboratoire :

- La conception de produits, de systèmes et de service, qui s'intéresse à l'ingénierie de projet ainsi qu'à l'instrumentation et les méthodologies de préconception ;
- Le management des connaissances et des savoir-faire, qui porte sur l'échange, la capitalisation d'informations et les processus de décision ainsi que sur l'apprentissage collectif, la gestion des compétences et l'innovation.

Ces travaux doivent trouver leur champ d'application dans le monde des entreprises, et il est souhaitable de développer encore les relations que nous avons avec elles. Nous avons jusqu'ici travaillé avec PSA, Bouygues Télécom, EDF, Renault, et Centrale Lille a conclu un partenariat avec Softeam (éditeur d'atelier de génie logiciel). Nous comptons continuer à développer les partenariats avec les entreprises, notamment avec les bureaux d'études des grands groupes.

Une part de l'approche est nécessairement de nature inductive ; elle soit s'appuyer sur des démarches rigoureuses reconnues dans la communauté scientifique. Nous devons également associer plus étroitement les sciences humaines et sociales, tant une vision globale des problématiques semble indispensable.

Sur le plan national, nous souhaitons développer encore la dynamique du GT IS3C, notamment en organisant une école à caractère recherche sur le thème « Valeur et indicateurs de performance en conception », en relation notamment avec l'AIP-Priméca et le réseau des doctorants.

Sur le plan international, nous prévoyons d'organiser mi-novembre 2006 une école d'automne franco-tunisienne sur le thème « KM et projets », en relation avec l'ENSI de Tunis et le LGI de Centrale Paris et l'INT d'Evry.

Enfin, notre participation au réseau d'excellence européen InterOp permettra de contribuer à une collaboration efficace au plan international.

## Références bibliographiques

- [AFN 92] Afnor Z 68-901, Représentation des systèmes de contrôle et de commande des Systèmes Automatisés de Production, Génie Automatique, Normalisation Française, 1992.
- [ALE 97] Alexander C., Ishikawa S., Silverstein M., Jacobson M., Fiskdahl-King I., Angel S., „A pattern language“, Oxford University Press, 1997.
- [ALT 88] Altshuller G., “Creativity as an exact science”, Gordon & Breach, New York, 1988.
- [AMA 94] Amar S., Systèmes automatisés et flexibles de production manufacturière : méthode de conception du système de coordination par prototypage orienté objet de la partie procédé, Thèse de Doctorat de l’Université de Lille1, 1994.
- [APT 00] Apte, « La Méthode APTE® d’AV/AF », Petrelle, 2000.
- [BAC 04] Bachimont B., « Arts et sciences du numérique : ingénierie des connaissances et critique de la raison computationnelle », Habilitation à Diriger des Recherches de l’Université de Technologie de Compiègne, 12 janvier 2004.
- [BAC 78] Bachelard G., La formation de l’esprit scientifique, éd. J. Vrin, Paris, 1978.
- [BAR 70] Barbut M., Monjardet B., « Ordre et Classification », Hachette Université, Paris, 1970.
- [BEL 00] Belanger N., Elaboration d’un système d’aide au diagnostique des accidents de la route par une approche cognitive, *thèse de doctorat*, Université de droit, d’économie et des sciences d’Aix-Marseille III, 2000.
- [BEN 05] Ben Ahmed W., « SAFE-NEXT : une approche systémique pour l’extraction de connaissances de données. Application à la construction et à l’interprétation de scénarios d’accidents de la route », Thèse de Doctorat de l’Ecole Centrale Paris, 17 janvier 2005.
- [BER 00-1] Bernard A., « Modèles et approches pour la conception et la production intégrées », APII-JESA, n°34/2000, CPI’99, pp163-193, 2000.
- [BER 00-2] Bernard-Bouissières J., « Aide à l’élaboration du cahier des charges fonctionnel - Pour une meilleure expression du besoin », AFNOR, 2000.
- [BER 02] Bernard A., Perry N., “Fundamental concepts of product/technology/process informational integration for process modeling and process planning“, Proc. of 2002 1rst CIRP Digital Enterprise Technology, 16th-17th September 2002, Durham (GB), p.115-121, ISBN 0-9539998-1-X, 2002.
- [BER 98] Berruet P., Contribution au recouvrement des systèmes flexibles de production manufacturière : analyse de la tolérance et reconfiguration, Thèse de Doctorat de l’Université de Lille 1, 1998.
- [BER 99] Berruet P., Toguyeni A.K.A., Elkhatabi S., Craye E., Tolerance evaluation of flexible manufacturing architectures, *Journal of Intelligent Manufacturing*, 1999.
- [BIG 88] M. Bigand, « Générateur automatique de géométries admissibles en optimisation de forme », Thèse de Doctorat de l’Université Paris 6, 1988.
- [BOI 92] Bois S., Intégration de la gestion des modes de marche dans le pilotage d’un système automatisé de production, Thèse de Doctorat de l’Université de Lille 1, 1992.
- [BOI 98] Boitard L., Contribution à l’Intégration d’Outils de Génie Automatique autour d’un Système d’Information Unifié. Prototypage d’un Atelier Intégré de Génie Automatique, Thèse de Doctorat de l’Université de Nancy1, 1998.
- [BON 98] Bon-Bierel E., « Contribution à l’intégration des modèles de Systèmes de Production Manufacturière par Méta-Modélisation », Thèse de Doctorat de l’Université de Nancy1, 1998.
- [BOO 98] Booch G., Rumbaugh J., Jacobson I., "The Unified Modeling Language User Guide", Addison-Wesley Pub Co, 1998.
- [BOU 88] Bourey J.P., « Structuration de la partie procédurale du système de commande de cellules de production flexibles dans l’industrie manufacturière », Thèse de Doctorat de l’Université Lille 1, 1988.

- [BOU 93] Bourey J.P., « Méthode de conception de la commande de systèmes flexibles de production manufacturiers », Habilitation à Diriger des Recherches, USTL, 1993.
- [BRE 97] Brenac T., L'analyse séquentielle de l'accident de la route : comment la mettre en pratique dans les diagnostics de sécurité routière, Outil et méthode, Rapport de recherche n° 3, INRETS, 1997.
- [CAM 96] Camus H., Ohl H., Korbaa O., Gentina J.C., Cyclic Schedules in Flexible Manufacturing Systems with Flexibilities in operating sequences, First International Workshop on Manufacturing and Petri Nets, 17<sup>th</sup> International Conference on Application and Theory of Petri Nets, Osaka, pp.97-116, 1996.
- [CAN 97] Cantzler O., « Une architecture conceptuelle pour la pérennisation d'historiques globaux de conception de produits industriels complexes », Thèse de Doctorat de l'Ecole Centrale Paris, 1997.
- [CAS 87] Castelain E., « Modélisation et simulation interactive de cellules flexibles dans l'industrie manufacturière », Thèse de Doctorat de l'Université Lille 1, 1987.
- [CAS 99] Castaing A., Bourrières J.P., "A reference framework for Life-Cycle Design of complex products", IEEE Towards Flexible and Agile Assembly and Manufacturing, ISATP'99, Porto, Portugal, 1999.
- [CHA 94] Chandrasekaran B., "Functional Representation and Causal Processes", Advances in Computers, N°38, pp. 73-143, 1994.
- [CHEN 03] Chen, D., Doumeingts, G.: Basic Concepts and Approaches to Develop Interoperability of Enterprise Applications, Processes and Foundations for Virtual Organizations, Kluwer, 2003.
- [COL 01/1] Collaine A., Lutz P., Lesage J.J., "Valuation of the impact of product evolutions on delay using Petri Net simulation, International Conference on Industrial Engineering and Production Management, IEPM'2001, Québec (Canada), CDRom paper 10 pages, August 2001.
- [COL 01/2] Collaine A., « Une méthode d'évaluation de l'impact des évolutions du produit sur le système de production et la performance de l'entreprise », Doctorat de l'Ecole Normale Supérieure de Cachan, LURPA, 11 Décembre 2001.
- [CON 96] Constant D., "Contribution à la spécification d'un modèle fonctionnel de produits pour la conception intégrée de systèmes mécaniques", Thèse de doctorat de l'Université Joseph Fourier Grenoble, 1996.
- [COU 97] Couffin F, Modèle de données de référence et processus de spécialisation pour l'intégration des activités de conception en Génie Automatique, Thèse de Doctorat de l'E.N.S de Cachan, 1997.
- [CRA 89] Craye E., « De la modélisation à l'implantation automatisée de la commande hiérarchisée de cellules de production flexible dans l'industrie manufacturière », Thèse de Doctorat de l'Université Lille 1, 1989.
- [CRE 97] Crevier D., « A la recherche de l'intelligence artificielle », Champs Flammarion, 1997
- [DEG 01] Degre, Y. « Intégration des données de la mécanique aux données de l'automatique : une contribution au poste de travail du génie automatique », Thèse de Doctorat de l'ENSAM, 2001.
- [DEN 93] Denis B., Lesage J.J., Timon G., Toward a theory of integrated modelling, Science et *technique de la conception*, Volume 2, n°1/1993, pp87-96, 1993.
- [DIE 01] Dieng R., Corby O., Gandon F., Giboin A., Golebiowska J., Matta N., Ribière M., « Méthodes et outils pour la gestion des connaissances », ISBN 2 10 006300 6, pp215-237, Dunod, 2001.
- [DJE 93] Djeraba C., Nguyen G.T., Rieu D., Objets composites et liens de dépendance dans les systèmes d'information, INFORSID 93, Lille, 1993.
- [DOU 84] Doumeingts G., « Méthode GRAI : méthode de conception des systèmes en productique », Thèse de Doctorat de l'Université de Bordeaux 1, 1984.
- [DOU 96] Doumeingts G., Girard P., Eynard B., "GIM/GRAI integrated methodology for product development, Design for X, Concurrent engineering imperatives", Chapman & Hall, Londres, 1996.
- [DSO 99] D'Souza D., Wills A.C., "Objects, components and frameworks with UML: the catalysis approach", Addison-Wesley, 1999.
- [DUD 03] Duzdert A., « La valeur des connaissances en entreprise : recherche sur la conception de méthodes opératoires d'évaluation des connaissances en organisation », Thèse de Doctorat en Génie Industriel - Spécialité Sciences de Gestion, Ecole Centrale Paris, 2003.

- [DUP 91] Dupinet E., « Contribution à l'étude d'un système informatique d'aide à la conception de produits mécaniques par la prise en compte des relations fonctionnelles », Thèse de Doctorat, Ecole Centrale Paris, 20 septembre 1991.
- [ELL 02] Elloy J.P., Simonot-Lion F., "An Architecture description language for in-vehicle embedded system development", IFAC 15th World Congress B'02, Barcelone, Espagne, Juillet, 2002.
- [ELK 95] El Khattabi S., Craye E., Gentina J.C., Supervision by the behavior modelling, IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, SMC'95, Vancouver, vol.2, pp.1416-1422, 1995.
- [EN-12973 00] EN-12973 Value Management. European standard, 2000.
- [EYN 99] Eynard B., « Modélisation du produit et des activités de conception – Contribution à la conduite et à la traçabilité du processus d'ingénierie », Thèse de Doctorat de l'Université Bordeaux1, 1999.
- [FLE 01] Fleury D. and Brenac T., Accident prototypical scenarios, a tool for road safety research and diagnosis studies, *Accident Analysis & Prevention*, vol.33, p. 267-276, 2001.
- [FRA 87] Frachet J.P., « Une introduction au Génie Automatique : faisabilité d'une chaîne intégrée d'outils CAO pour la conception et l'exploitation des machines automatiques industrielles », Thèse d'Etat, Université de Nancy 1, 1987.
- [FRA 04] François D., "Etude comparative de quatre langages de description d'ontologies pour le web sémantique", Mémoire de DEA Génie des Systèmes Industriels, Centrale Lille, 2004.
- [GAL 03] Gallet T., Eynard B., Moreau D., "Use of object oriented approach in product structure and workflow specifications in PDM system", Computational Engineering in Systems Applications Multiconferences – CESA 2003, Lille, France, 9-11 juillet 2003.
- [GAM 94] Gamma E., Helm R., Johnson R. and Vlissides J., "Design Patterns, Elements of Reusable Object-Oriented Software", Addison-Wesley, 1994.
- [GAR 94] Guarino N., S. Pribbenow and L. Vieu, Parts and Wholes: Conceptual Part-Whole Relations and Formal Mereology. *ECAI'94 Workshop*. Amsterdam, The Netherlands, 1994.
- [GAR 01] Gardoni M., Spadoni M., Vernadat F., "Harnessing non structured information and knowledge and know-how capitalisation in integrated engineering, case study at Aerospatiale Matra", *Concurrent Engineering: Research and Applications*, vol 8, n° 4, 2001.
- [GAR 03] Gardoni M., Spadoni M., « Gestion des Connaissances Techniques textuelles et graphiques, de l'innovation dans un contexte d'ingénierie intégrée MICA-Graph », *International Journal of design and innovation research*, vol 3, n° 1, p 57 - 67, 2003.
- [GEN 98] Gentil M.H., Castaing A., Bourrières J.P., "Process requirements for disassembly and recycling", INCOM, Nancy, France, 1998.
- [GZA 00/1] Gzara L., "Les patterns pour l'ingénierie des systèmes d'information produit", Thèse de Doctorat de l'Université Joseph Fourier Grenoble, 2000.
- [GZA 00/2] Gzara L., Rieu D., Tollenaere M., "Patterns Approach to Product Information Systems Engineering", *Requirements Engineering Journal*, Springer Verlag, vol 5, n° 3, p 157 - 179, 2000.
- [GZA 03/1] Gzara L., Rieu D., Tollenaere M., "Product Information Systems Engineering : An Approach For Building Product Models By Reuse Of Patterns", *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol 19, n° 3, p 239 - 261, 2003.
- [GZA 03/2] Gzara L., Lombard M., "Cooperative design of mechanical products: specification for a conflict management support system", CESA'03, Lille (France), 2003.
- [HAL 92] Halper M., Geller J., Perl Y., Part Relations for Object-Oriented Databases, *Proceedings of the 11<sup>th</sup> International Conference on the Entity Relationship Approach*, Karlsruhe, Germany, pp. 406-422, 1992.
- [HAR 85] Haren, Ciacometti, Neveu, « De l'utilisation de prototypes en CAO », *Cognitiva* 85, pp.183-187, 1985.
- [HAR 97] Harani Y., Une approche Multi-Modèles pour la Capitalisation des Connaissances dans le domaine de la Conception, Thèse de Doctorat de l'Institut National Polytechnique de Grenoble, 1997.
- [IFP 94] IFPUG, « Function Point Counting Practices », Manual Release 4.0, Westerville, USA, 1994.

- [KAP 88] Kapusta M., « Génération assistée d'un graphe fonctionnel destiné à l'élaboration structurée du modèle de la partie commande pour les cellules de production flexibles dans l'industrie manufacturière », Thèse de Doctorat de l'Université Lille 1, 1988.
- [KET 98] Kettani N., Mignet D., Pare P., Rosenthal-Sabroux C. – *De Merise à UML*, Eyrolles, 1998.
- [KLE 03] Kleppe A., Warmer J., Bast W., “MDA explained – The Model Driven Architecture: practice and promise”, Object Technology Series, Addison-Wesley Ed., ISBN 0-321-19442-X, 2003.
- [KOR 97] Korbaa O., Camus H., Gentina J.C., FMS Cyclic Scheduling with Overlapping production cycles, 2<sup>nd</sup> International Workshop on Manufacturing and Petri Nets, 18<sup>th</sup> International Conference on Application and Theory of Petri Nets, 1997.
- [LAB 02] Labrousse M., Bernard A., Véron P., « Référentiel numérique « moto » : proposition d'un modèle conceptuel de base », IDMME'2002, 4<sup>ème</sup> Conférence Internationale sur la conception et la fabrication intégrées en mécanique, 2002.
- [LAR 03] Lardeur E., "Amélioration de la performance de l'ingénierie dans un contexte d'Ingénierie Système, cas du développement conjoint des produits automobiles et de leurs systèmes de fabrication", Thèse de doctorat soutenue le 3 décembre 2003, Ecole Centrale Paris, 2003.
- [LEM 77] Le Moigne J.L., « La Théorie du Système Général, théorie de la modélisation », PUF., 1997.
- [LEM 99] Le Moigne J.L., « La modélisation des systèmes complexes », Dunod, 1999.
- [LON 01] Lonchamp P., "Contraintes et critères de valeur pour la conception intégrée", in Journée des thèses du labo L3S, Autrans, 2001.
- [LON 03] Longueville B., « Capitalisation des processus de décision dans les projets de conception de produits innovants », Thèse de doctorat, Ecole Centrale Paris, décembre 2003.
- [LY 97] Ly F., Toguyeni A.K.A., Craye E., “Predictive Maintenance and Monitoring in Flexible Manufacturing Systems”, 15<sup>th</sup> IMACS Congress, Berlin, vol.5, pp.415-420, 1997.
- [MAR 02] Marle F., « Modèles d'informations et méthodes pour une aide à la prise de décision en management de projet », Thèse de doctorat, Ecole Centrale Paris, 25 novembre 2002.
- [MAR 91] Martin D., La norme de référentiel IRDS : objectif et fonctions, *Génie Logiciel & Systèmes Experts*, Nr 22, 1991.
- [MAS 00] Mascitelli R. “From Experience: Harnessing Tacit Knowledge to Achieve Breakthrough ”, *The Journal of Product Innovation Management*, Vol. 17, pp. 179-193, 2000.
- [MAT 99] Matta N., Corby O., Ribière M., « Méthodes de capitalisation de mémoire de projet », INRIA, Rapport de recherche n°3819, novembre 1999.
- [MEK 03] Mekhilef M., Kelleher D, Olesen A, “European Guide to Good Practice in Knowledge Management – Chapter 1 – Terminology”, site du Knowledge Board, 2003.
- [MEN 02] Menand S., "Modélisation pour la réutilisation du processus de conception multi acteurs de produits industriels - Application à la conception fonctionnelle des systèmes de direction automobile", Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble, soutenue le 10 janvier 2002, 2002.
- [MER 03] Merlo C., Girard P., “GRAI Engineering Method: An Object-oriented Approach for Information System Modeling”, Computational Engineering in Systems Applications Multiconferences – CESA 2003, Lille, France, 9-11 juillet 2003.
- [MIL 61] Miles L. D., *Techniques of Value Analysis and Engineering* (New-York: Mc Graw Hill), 1961.
- [MIL 98] Millon O., « De l'intégration des métiers par les données techniques vers la maîtrise de la modélisation conceptuelle : la méthode VIM (View points Information Modelling) », Thèse de Doctorat de l'Université Nancy1, 1998.
- [MIS 04/1] Missikoff M., Schiappelli F., “Tutorial on ontologies: ontology interoperability”, InterOp, WP8, 2004.
- [MIS 04/2] Missikoff M., Lenzerini M., Schiappelli F., “Basic principles on ontologies”, InterOp, WP8 Tutorial on ontologies, 2004.

- [MON 92] Mony C., « Un modèle d'intégration des fonctions conception – fabrication dans l'ingénierie de produit. Définition d'un système mécanique en base de données objet », Thèse de Doctorat, Ecole Centrale Paris, 12 mai 1992.
- [NDI 00] Ndiaye D. « Apport des technologies orientées objet dans l'étude et la mise en place d'un référentiel de conception pour les systèmes automatisés de production », Thèse de Doctorat de l'Université de Lille I, France, 2000.
- [NUR 00] S. Nurcan, C. Rolland "Contributions of Workflow to quality requirements", Knowledge and Process Management: the Journal of Corporate Transformation, John Wiley, 2000.
- [OMG 03] OMG: Unified Modeling Language (UML) Specification: Infrastructure version 2.0. Document: ptc-03-09-15
- [OMG 04] OMG: Unified Modeling Language (UML) Specification: Superstructure, version 2.0. Document: ptc/04-10-02
- [OMG 05] OMG: OCL 2.0 Specification. Adopted specification ptc/05-06-06
- [OUA 98] Ouazzani A., Bernard A., Bocquet J.C., "Process modelling: a design history capture perspective", 2nd International Conference Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering", Compiègne, 1998.
- [OUA 99] Ouazzani A., « Contrôle de cohérence et gestion de la sémantique dans le cycle conception-production – Application à la représentation du processus d'élaboration de produit », Thèse de Doctorat, Ecole Centrale Paris, 1999.
- [OUS 97] Oussalah C. et al, Ingénierie objet, Concepts et techniques, InterEditions, 1997.
- [OZE 99] Ozer M., "A survey of a New product Evaluation Models" The Journal of Product, 1999.
- [PET 04] Petiot J.F., « Conception intégrée orientée client », Habilitation à Diriger des Recherches, IRCCyN, 2004.
- [PIC 97] Picavet M., La complexité dans la modélisation du système d'information de l'entreprise. Propositions de solutions : concepts, outils et démarches, Habilitation à Diriger des Recherches en informatique, Université de Lille 1, 1997.
- [ROL 03] Rolland C., Souveyet C., Ben Ayed M., Guiding Lyee user requirements capture, Knowledge Based SYSTEMS, Elsevier(pub), to be issued in 2003.
- [SAU 97] Saucier A., « Un modèle multi-vues du produit pour le développement et l'utilisation de systèmes d'aide à la conception en ingénierie mécanique », Thèse de Doctorat de l'ENS Cachan, 1997.
- [SCH 94] Schreiber A. Th., Wielinga B., de Hoog R., Akkermans H., Van de Velde W., "CommonKADS : A comprehensive methodology for KBS development", IEEE Expert, 28-37, 1994.
- [SCH 99] Schreiber G., Akkermans H., Anjewierden A., De Hoog R., Shadbolt N. Van der Velde W., Wielinga B., "Knowledge Engineering and Management: The CommonKADS Methodology", The MIT Press, ISBN 0-262-19300-0, 1999.
- [SEL 99] Sellini F., « Contribution à la représentation et à la vérification de modèles de connaissances produit en ingénierie d'ensembles mécaniques », Thèse de l'Ecole Centrale Paris, 1999.
- [SIM 01] Simone C., Matta N., Eynard B., « Espaces numériques d'information et de coopération », Hermès Sciences, Vol.5 – n° 3-4, 2001.
- [TAR 89] Tardieu H., Rochfeld A., Coletti R., *La Méthode Merise – Principes et outils*, Editions d'Organisation, 1989.
- [THA 92] Tham K.D., CIM-OSA : Enterprise Modelling, Enterprise Integration Laboratory, University of Toronto, 1992.
- [TIC 84] Tichkiewitch S., « COPEST : système expert pour la conception optimisée des pièces estampées », AFCET – Journées Systèmes Experts, Avignon, 1984.
- [TOG 00] Toguyéni A.K.A., Craye E., "Alarm Processing and Faults Recovery Based on Functional Modeling". Proceedings of World Automation Congress, Maui, Hawaii, 2000.

- [TOG 96] Toguyéni A.K.A., El Khattabi S., Craye E, Functional and/or structural approach for the supervision of flexible manufacturing systems, CESA'96 IMACS, Symposium on discrete event and manufacturing systems, pp 716-721, 1996.
- [TOM 02] Tomala F., « Proposition de modèles et méthodes pour l'aide à l'évaluation de la performance globale d'une innovation dès sa conception », Thèse de Doctorat, Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis, Valenciennes, octobre 2002.
- [TOM 03] Tomala F., Ngassa A., « Proposition d'un référentiel commun aux acteurs relatifs à l'innovation », 5ème Congrès International de Génie Industriel, Québec, Canada, 2003.
- [VAN 97] Van Elslande P., Alberton L., Scénarios-types de production de l'erreur humaine dans l'accident de la route, problématique et analyse qualitative, Rapport de recherche n°218, INRETS, 1997.
- [VER 93] Vernadat F., Enterprise Modelling and Enterprise Integration using a Process-based Approach, Information Infrastructure Systems for Manufacturing, Amsterdam, pp.65-84, 1993.
- [VIL 88] Villemeur, Sûreté de fonctionnement des systèmes industriels, fiabilité, facteurs humains, informatisation, Editions Eyrolles, 1988.
- [YAN 01] Yannou B., "Préconception de produits", Habilitation à Diriger des Recherches, INPG, 2001.
- [YVA 01] Yvars P.A., « Contribution à la représentation des connaissances en ingénierie intégrée de produits et de systèmes automatisés de production », Habilitation à Diriger des Recherches, INPG, 2001.

**Troisième partie**  
**Copies de publications**



## Annexe 1

*“Models integration for the elaboration of a domain multi-view in accidentology”*  
BEN AHMED M., MEKHILEF M., BIGAND M., PAGE Y.  
Studies in Informatics and Control, n° #4/2005, 2005.

*Ce papier développe une démarche d'intégration de modèles selon une approche « modèle intégré ». Le modèle de référence a été construit en s'appuyant sur une approche systémique. Ce papier a été accepté le 29/08/2005.*

### Résumé :

Une approche mixte d'intégration de modèles est présentée, à la fois ascendante et descendante. L'approche descendante est justifiée par la volonté d'offrir un cadre structurant générique ; du fait de la nature complexe de la problématique, une approche systémique a été retenue. L'approche ascendante concerne l'extraction d'informations de bases de données, intégrant les connaissances des experts. Cette approche mixte a été appliquée pour construire une représentation de scénarios types d'accidents commune aux accidentologues et aux concepteurs de nouveaux systèmes de sécurité active embarquée.

## Annexe 2

*“A semi-formal approach to build the Functional Graph of an Automated Production System for supervision purposes”*

GHAZEL M., TOGUYENI A., BIGAND M.

IJCIM, International Journal of Computer Integrated Manufacturing, France, 2005.

*Ce papier s'appuie sur une approche unifiée d'intégration de modèles dans le domaine de la surveillance – supervision des systèmes automatisés de production. Il est accepté ; les dernières modifications demandées (cf dernière page) ont été apportées et transmises à la revue.*

### Résumé :

Nous présentons une approche d'analyse fonctionnelle, appelée approche analytique, appliquée à la modélisation des systèmes automatisés de production (SAP). Des modèles UML représentant les concepts métiers sont proposés. L'objectif de cette étude est l'automatisation de l'approche analytique pour permettre à un expert d'obtenir le graphe fonctionnel d'un SAP existant. Ce graphe permet la détection et l'isolation de fautes pour les systèmes flexibles de production (SFP) et installations complexes comme les centrales nucléaires ou les installations chimiques. La construction manuelle des graphes fonctionnels a révélé certaines difficultés dans la construction manuelle des graphes fonctionnels pour les systèmes complexes, ce qui justifie l'automatisation de la démarche de modélisation. L'originalité de notre approche est sa généricité (elle n'est pas spécifique aux SAP). Cette propriété résulte à la fois de l'utilisation de concepts génériques comme celui de fonction qui est indépendant du contexte d'application et de l'adoption d'une approche orientée objet pour notre processus d'analyse. Cette étude nous permet de développer une application informatique efficace. Elle permet d'enrichir un modèle de référence qui regroupe différents modèles d'un SFP selon différents points de vue.

### Annexe 3

*"An UML approach for the metamodelling of Automated Production Systems for monitoring purpose"*

GHAZEL M., TOGUYENI A., BIGAND M.

Computer in Industry, Vol.55, n°3, pp283-299, December 2004.

*Ce papier développe l'ensemble de la démarche et des modèles UML utilisés pour l'intégration de modèle dans le cadre d'une approche unifiée.*

#### Résumé :

Ce papier concerne l'intégration des modèles d'experts pour la surveillance – supervision dans un référentiel prenant en compte différents points de vue relatifs à la conception et l'exploitation des systèmes de production automatisés. La métamodélisation est utilisée pour obtenir un modèle global unique qui permet une interprétation cohérente de l'ensemble des points de vue.

## Annexe 4

*"Integration of FMS performance evaluation models using patterns for an information system design"*

BIGAND M., KORBAA O., BOUREY J.P.

Computers & industrial Engineering (CIE), Vol.46, Issue 4, pp625-637, July 2004.

*Ce papier présente une démarche ascendante d'intégration de modèles ainsi que quelques éléments de la maquette informatique développée ; un exemple relatif à l'évaluation de performance des systèmes de production est développé.*

### Résumé :

L'objectif de notre travail est de créer un système d'information capable d'intégrer différents points de vue concernant la conception et le contrôle des systèmes flexibles de production. De nombreuses méthodes basées sur des architectures de domaines génériques ont été proposées pour modéliser tous les aspects des systèmes de production. Ces modèles doivent être instanciés pour être appliqués à des systèmes spécifiques. L'intégration de modèles préexistants des systèmes étudiés avec ceux obtenus par instanciation de l'architecture générique est toutefois difficile. L'approche proposée aborde le problème du point de vue des systèmes d'information. Une approche ascendante basée sur l'utilisation de patrons est présentée afin de faciliter l'étape d'intégration de modèles. Un exemple relatif à l'évaluation de performance et la planification d'un système de production est présenté pour montrer comment le point de vue du produit peut être construit en vue d'une intégration ultérieure avec d'autres points de vue.

## Annexe 5

*"A curriculum of value creation and management in engineering"*

YANNOU B., BIGAND M.

European Journal of Engineering Education, France, Vol.29-3, pp355-366, September 2004.

*Ce papier concerne la formation des ingénieurs à la création de valeur et au management de projet de conception de produit. Il concerne directement les thèmes de l'ingénierie de l'innovation et de l'ingénierie de projet. Il s'appuie sur une expérience de plus de 15 ans en management de projet en école d'ingénieur et en entreprise, ainsi que sur les travaux du thème « Innovation et expertise métier » du GT IS3C du GDR MACS.*

### Résumé :

Nous sommes convaincus que les processus de création de valeur et de management sont essentiels aujourd'hui dans la formation des ingénieurs et les managers de projets. Nous pensons que ces processus peuvent être inclus dans un cursus en trois parties comprenant des cours de management de la valeur et de l'innovation liés à une pratique de groupes de projets afin d'acquérir l'esprit d'innovation et d'analyse de la valeur ainsi que les réflexes et capacités professionnelles requises. Après une réflexion sur le besoin d'acquérir ces connaissances et capacités et la présentation d'un cursus « idéal » introduisant valeur et innovation, nous présentons notre solution pour une formation courte et efficace en création de valeur et management de projet de conception de produit.

## Annexe 6

*"Information system for production engineering: contribution to maintaining consistency of composite data using an object-oriented approach"*

NDIAYE D., BIGAND M., CORBEEL D., BOUREY J.P.

International Journal of Computer Integrated Manufacturing, IJCIM, Taylor & Francis Pub., Vol.15, n°3, pp233-241, April 2002.

*Ce papier présente l'approche globale d'intégration de modèles d'experts dans le cadre d'une approche unifiée et montre comment les mécanismes d'extension d'UML peuvent être utilisés pour définir des contraintes spécifiques contenues dans les modèles des experts.*

### Résumé :

La coordination des activités de l'entreprise repose sur le contrôle de l'information échangée et partagée. Plusieurs solutions standard sont proposées (CIMOSA, GRAI, PERA...) qui reposent sur la définition d'un modèle préliminaire basé sur une architecture de référence. Ce modèle peut être adapté à des systèmes particuliers par spécialisation. Cette approche est bien adaptée à la conception de modèles cohérents pour les systèmes de production. Cependant, l'intégration de modèles préexistants dans un modèle de référence s'avère difficile. Une approche d'intégration de modèles partant des modèles spécifiques des experts du domaine est proposée. Cette méthode est basée sur une approche de métamodélisation orientée objet des modèles des experts et sur l'intégration de ces métamodèles. UML est utilisé comme langage de métamodélisation. Avant intégration, les métamodèles doivent être cohérents avec la sémantique des modèles des experts. Le papier présente globalement l'approche d'intégration de modèles et montre comment les mécanismes d'extension d'UML peuvent être utilisés pour définir des contraintes spécifiques contenues dans les modèles des experts.

## Annexe 7

*"Project monitoring in a graduate engineering school"*

BIGAND M., CRAYE E., DESHAYES P.

IEEE/SMC Transactions, Part C: Applications and reviews, Vol.30, n°2, pp183-188, May 2000.

*Ce papier est relatif au pilotage d'un ensemble de projets ; il concerne pleinement le thème de l'ingénierie de projet de conception de produit innovant traité dans le cadre du GT IS3C du GDR MACS. Il s'applique ici au pilotage d'environ 90 projets d'élèves ingénieurs, mais la méthode développée est adaptable aux projets industriels.*

### Résumé :

Les élèves de l'Ecole Centrale de Lille ont réalisés un projet dans les deux premières années de leur formation d'ingénieur. Ce projet constitue un support majeur de leur formation pluridisciplinaire. Après avoir situé le contexte de l'Activité-Projet, les objectifs de formation qui lui sont assignés sont présentés. Ce papier développe le système de pilotage de l'ensemble des projets (environ 90 projets simultanés) afin d'assurer le succès de chaque équipe de projet.

## **Annexe 8**

Rapports de soutenance de thèse  
Autorisations d'encadrement