



Faculté des Sciences et Techniques

U.F.R. Sciences et Techniques Mathématiques, Informatique et Automatique
Ecole Doctorale IAEM Lorraine
DFD Automatique et Production Automatisée

Centre de Recherche
En Automatique de Nancy



CNRS UMR 7039

HABILITATION A DIRIGER DES RECHERCHES

Université Henri Poincaré – Nancy I
(spécialité Automatique)

Présentée par

Benoît IUNG

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

Contribution à l'Automatisation des Systèmes Intelligents de Production: Interopérabilité des Processus de Contrôle, Maintenance et Gestion Technique

Soutenue le 17 décembre 2002 devant le jury:

<i>Rapporteurs:</i>	Pr. M. Bayart	Université des Sciences et Techniques de Lille - EUDIL
	Pr. E. Niel	Institut National des Sciences Appliquées de Lyon
	Pr. D. Noyes	Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tarbes
<i>Examineurs:</i>	Pr. J.F. Aubry	Institut Polytechnique National de Lorraine - ENSEM
	Pr. N. Zerhouni	Université de Franche-Comté
	Pr. L. Ye	Huazhong University of Science and Technology – Wuhan (China)
	Pr. G. Morel	Université Henri Poincaré – Nancy I

Préambule

Le présent document décrit nos activités universitaires d'enseignant/chercheur depuis notre soutenance de thèse (1992) effectuée au CRAN (Centre de Recherche en Automatique de Nancy, UMR 7039) et notre affectation en 1993 sur le poste n°1184 de l'ESIAL (Ecole Supérieure d'Informatique et Applications de Lorraine) de l'Université Henri Poincaré – Nancy I.

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

L'originalité de ces activités de recherche menées au sein du CRAN réside dans le fait qu'elles sont issues des applications, c'est à dire de coopérations industrielles fortes qui ont permis de constituer avec les industriels concernés comme Electricité de France ou SchlumbergerSema un véritable programme de recherche sur une dizaine d'années. Par conséquent, notre activité scientifique correspond à un compromis entre (a) une **recherche technologique** où nous avons cherché à apporter des solutions particulières de R&D aux problématiques des architectures de systèmes intégrés (vs. intelligents) de contrôle, maintenance et gestion technique à base de composants interopérables, et (b) une **recherche appliquée** où nous avons tiré profit de ces applications pour rationaliser les résultats en expérimentant et améliorant des approches de modélisation scientifiques principalement non analytiques favorisant la compréhension globale de ces systèmes.

Par conséquent, dans une première partie de ce document, nous développons la problématique de modélisation de ces systèmes en général afin de positionner, d'une part, les différentes approches de modélisation en fonction des caractéristiques de réactivité et de globalité que nous voulons conférer au fonctionnement de nos systèmes et, d'autre part, les méthodes de modélisation mises en œuvre pour qualifier ces approches. Ce double positionnement nous permet ensuite, dans une deuxième partie, de présenter nos contributions "technologiques" pour l'automatisation de ces systèmes en regard de nos coopérations industrielles principalement sur des problématiques d'architectures et de qualité du procédé de modélisation et, dans une troisième partie, de présenter nos contributions "appliquées" (confortées par des coopérations académiques) en regard d'une rationalisation scientifique des résultats de R&D principalement sur l'amélioration des approches de modélisation (pérenniser le processus de modélisation de ces systèmes).

Cette évolution dans la problématique de modélisation de ces systèmes correspond de façon duale à la logique qui nous a fait co-encadrer (avant 1997) puis co-diriger avec le professeur Gérard Morel (à 50%), les thèses de Jean François Pétin (1995), Eric Neunreuther (1998), Jean Baptiste Léger (1999) et Yongqian Liu (2002).

Ces travaux de par leur finalité "appliquée" et "technologique", nous ont conduit à nous impliquer dans le CRAN, à part équivalente, dans les thèmes PAPD (Productique et Automatisation des Procédés Discrets) et CSSF (Conception de Systèmes Sûrs de Fonctionnement) et, plus précisément pour ce dernier thème, dans l'action 1 "Optimisation des processus décisionnels en Maintenance".

Les résultats obtenus dans cette action nous ont amenés, suite à une proposition du CRAN pour la fin de cette période quadriennale 2000-2003, à prendre la responsabilité d'un nouveau projet de recherche intitulé "Processus décisionnel en maintenance pour la maîtrise de la sûreté et de la productivité". Ce projet de recherche, actif depuis juin 2002 et qui intègre nos problématiques technologiques et appliquées pour l'automatisation des systèmes intelligents de maintenance, est développé dans la quatrième partie de ce document.

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

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

Sommaire

Curriculum Vitae	1
Introduction	5
I. Cadre de modélisation des systèmes intégrés de contrôle, maintenance et gestion technique à base de composants interopérables	12
1. Architectures de systèmes de production	12
2. Approches de modélisation de systèmes de production.....	19
3. Méthodes de modélisation de systèmes de production	26
II. Recherches Technologiques en partenariat avec le milieu industriel et scientifique	31
1. Coopérations industrielles	31
2. Coopérations scientifiques	40
III. Recherches appliquées pour la rationalisation scientifique des résultats de R&D	45
1. Modélisation processive du fonctionnement des systèmes intégrés à base de composants interopérables.....	45
2. Modèles de référence pour pérenniser l'approche de modélisation des systèmes intégrés à base de composants interopérables	49
3. Validation, par émulation, des modèles des systèmes intégrés à base de composants interopérables.....	62
4. Modélisation du processus global de maîtrise de la qualité d'objets industriels selon l'approche normative ISO9000:2000.....	64
5. Modélisation, à base du paradigme de systèmes multi-agents, d'un processus de maintenance prévisionnelle collaborative	65
IV. Programme de recherche en processus décisionnel en maintenance	70
1. Liste des participants du projet.....	70
2. Présentation générale, objectifs, action et méthode de travail.....	71
3. Justification.....	76
V. Ressource expérimentale: Plate forme IMS	80
VI. Activités d'enseignement et de son administration	83
Conclusion	87
Production scientifique	89
1. Revues avec comité de lecture	89
2. Ouvrages	90
3. Manifestations avec comité de lecture et actes.....	90
4. Revues et Manifestations avec ou sans comité de lecture et à diffusion restreinte.....	92
Formation par la recherche	94
1. Co-direction de thèses (4 + 1).....	94
2. Co-direction de post-doctorant (1 + 1)	94
3. Co-direction et direction de stagiaires de DRT (1+1) et de DEA (11+2).....	95
4. Accueil d'étudiants étrangers (5).....	96
Rayonnement scientifique	97
1. Animation scientifique.....	97
2. Organisation et invitations dans des manifestations avec comité de lecture et actes	97
3. Critiques scientifiques.....	99
4. Prix aux chercheurs encadrés.....	100
5. Consultance – Expertise.....	100

Valorisation	101
1. Projets ou contrats de recherche passés	101
2. Protocoles de collaboration et de recherche	104
3. Projets ou contrats de recherche en cours.....	104
Références Bibliographiques	106
Acronymes	111

Curriculum Vitae

1. Etat Civil

IUNG Benoît

Né le 12 janvier 1962 à Varangéville (40 ans), marié 2 enfants.
Nationalité française.

Adresse professionnelle

CRAN
Faculté des sciences
BP 239
54506 VANDOEUVRE

Tel: +33 (0) 3 83 68 44 38
Fax: +33 (0) 3 83 68 44 37
E-mail: benoit.iung@cran.uhp-nancy.fr

2. Formation Universitaire

- **DEUG A** Sciences des Structures et de la Matière, Faculté des Sciences, Université de Nancy I, juin 1984.
- **MST** Automatique et Commande Numérique, Faculté des Sciences, Université de Nancy I, juin 1986.
- **DESS** Productique et Automatique Industrielle, Faculté des Sciences, Université de Nancy I, juillet 1987.
- Dispense de DEA PA octroyée par le Conseil Scientifique de l'Université de Nancy I pour une inscription au doctorat de l'Université de Nancy I, novembre 1987.
- **Doctorat** de l'Université de Nancy I en Production Automatisée, 22 janvier 1992, mention très honorable.
"Contribution à une intelligence distribuée dans les équipements de niveau zéro des processus industriels complexes"
Jury: M. Véron (Président – Directeur de thèse), M. Courvoisier, Y. Quenec'hdu (Rapporteurs), J. André, P. Coiffet, D. Galara, G. Morel (Directeur de thèse associé).

3. Situation actuelle

- **Maître de Conférences** au 5^{ème} échelon de la classe normale, à l'Université Henri Poincaré - Nancy I (emploi n°1184), et en poste à l'Ecole Supérieure d'Informatique et Applications de Lorraine (ESIAL) dirigée depuis décembre 2002 par Pr. André SCHAFF succédant au Pr. Jacques GUYARD.
- Rattaché à la **61^{ème} section** du CNU.

- Chercheur au **CRAN** (Centre de Recherche en Automatique de Nancy), UMR 7039. Impliqué dans les thèmes **CSSF** (Conception de Systèmes Sûrs de Fonctionnement) et **PAPD** (Productique et Automatisation des Procédés Discrets).
- Autorisé depuis septembre 1997 à **diriger localement des thèses** sous la responsabilité du Pr. Gérard MOREL

4. Carrière

- 1987/88 Vacataire au CUCES et au CNAM - Université de Nancy I.
- 1988/92 Ingénieur d'études (équivalent CIFRE) sur contrat avec l'EDF/DER de Chatou (Département 3C; responsable: D. Galara) pour le financement de la thèse.
- 1992/93 Attaché Temporaire d'Enseignement et de Recherche (Temps plein) - Université de Nancy I - Faculté des Sciences - UFR STMIA.
- 1993 Maître de conférences – Université Nancy I – Poste ESIAL.
- 1997 Promotion au niveau national CNU, à la première classe des maîtres de conférences.

5. Synthèse générale des activités de recherche et d'administration de la recherche

Production scientifique

- Revues avec comité de lecture: 14 dont 5 Nationales.
- Participations à des ouvrages: 2.
- Conférences invitées dans colloques avec comité de lecture et actes: 5 internationales.
- Communications dans colloques avec comité de lecture et actes: 31 dont 30 internationales et 1 nationale (JDA99).
- Rapports de contrats de projets évalués: 15.
- Rapports de contrats industriels: 12.

Encadrement doctoral et de recherche

- PEDR: 2^{ème} depuis 1995.
- Doctorats soutenus: 4 à 50% avec Pr. G. Morel dont 1 en co-tutelle avec la Chine (HUST).
- Doctorat en cours: 1
- Post-Doctorat: 1 (+ 1 inscrit à l'UHP au diplôme de recherche post-doctorale – début janvier 2003)
- DEA soutenus: 11
- DEA en cours: 2
- DRT soutenu: 1
- DRT en cours: 1
- Co-publications avec les docteurs diplômés: revues (6 + 4); ouvrage (1); communications (15 + 1); rapports de contrat (10).
- Co-publications avec des chercheurs extérieurs au laboratoire: revues (3 + 2); communications (8).
- Co-publications avec des industriels: revues (2); communications (10).
- Placement des docteurs diplômés: 1 en Université chinoise, 1 Maître de Conférences à l'UHP, 2 en Industrie dont 1 créateur d'entreprise.

- Placement des DEA – DRT diplômés: 3 docteurs (bilan précédent), 9 en Industrie.

Animation scientifique

- Niveau Local:
 - Co-responsable scientifique avec M.C. Suhner (CRAN), entre 2000 et 2002, de l'action 1 de recherche technologique du CRAN en Optimisation des Processus Décisionnels en Maintenance (Thème CSSF – Projet 1: Sûreté de Fonctionnement des Systèmes Industriels). Depuis juin 2002, **responsable** du nouveau projet 1: Processus Décisionnel en Maintenance pour la maîtrise de la sûreté et de la productivité, du thème CSSF.
 - Membre nommé depuis 2001, au comité scientifique du PRST "Sûreté Industrielle et Déchets" de la région Lorraine.
 - Membre élu d'une commission de spécialiste UHP-61^{ème} section comme titulaire entre 1994 et 1997 puis comme suppléant entre 1998 et 2001.
- Niveau National: Participation à des groupes de travail
 - De 1992 à 1994, participant au groupe du CIAME "Actionneurs Intelligents".
 - De 1995 à 1998, participant au groupe du CIAME "Interopérabilité".
 - De 1995 à 1997, participant à la commission de recherche du club EEA en remplacement de G. Morel.
 - De 1998 à 2002, participant au groupe SPSF (Systèmes de Production Sûrs de Fonctionnement) du Groupement de Recherche en Productique GRP. Ce groupe est dénommé depuis fin 2001: AS2F (Automatisation et Systèmes Sûrs de Fonctionnement).
 - Depuis 1999, participant à l'action S3 (Sûreté, Surveillance, Supervision) du GdR Automatique.
 - Depuis juin 2002, participant au groupe "Ingénierie de la Maintenance pour la Performance Globale" du club du Génie Industriel (initiative du Pr. N. Zerhouni du LAB).
- Niveau Européen et International
 - Membre nommé par la SEE en 2001 puis reconduit pour la période 2003-2005, au comité technique "TC4.2 Mechatronic Systems" de la société scientifique internationale IFAC (Chair: R. Goodall (UK)).
 - Membre nommé par la SEE pour la période 2003-2005, au comité technique "TC4.4. Low Cost Automation" de la société scientifique internationale IFAC (Chair. H. Erbe (Germany)).
 - Co-responsable scientifique avec le Pr. Monostori L. (SZATKY – Hongrie) du SIG2 (special interest group on Manufacturing scheduling and control in the extended enterprise) du réseau d'excellence européen en IMS n° IST-2001-65001 (proposé en IMS-2001-00002) (2002-2005).

Valorisation scientifique

- Co-présidence de thème scientifique dans un congrès: 1 (INCOM98)
- Participation à des comités scientifiques de programme: 4 + 7 (sur 2002-2003)
- Organisation ou participation à l'organisation de colloque ou workshop: 3 + 3 (sur 2002-2003)
- Co-organisation de sessions dans colloque scientifique international: 2
- Co-présidence de sessions dans colloque scientifique international: 4
- Invité comme speaker pour une table ronde dans colloque scientifique international: 1

- Evaluation de papiers pour des revues internationales: 6 (IJPPC, Cil, ENERGY, JESA)
- Convention d'accueil de chercheurs étrangers: 5 (Chine)
- Expertise auprès d'organisme de recherche ou dans des projets: 4
- Prix au chercheur encadré: 3 (J.B. Léger pour sa société PREDICT)
- Responsabilité ou co-responsabilité scientifique de contrats dans des projets évalués: 6 (ESPRIT), 1 (INCO-DC), 1 (LEONARDO), 1 (IST puis IMS; en cours), 1 (IST; en cours); 1 (EUREKA; en cours)
- Responsabilité ou co-responsabilité scientifique de contrats industriels: 3 dont 2 nationaux (EDF) et 1 local (PREDICT).

6. Synthèse générale des activités d'enseignement et d'administration de l'enseignement

- A partir de septembre 2002, **responsable pédagogique du DESS – PAI** (Production, Automatisation, Information) de l'ESIAL (Institut Supérieur d'Informatique et d'Applications de Lorraine) – Faculté des Sciences – UFR STMIA.
- Entre 2000 et 2002, **responsable pédagogique de la spécialisation ISP** "Ingénierie des Systèmes de Production" à l'ESIAL. Cette spécialisation est dénommée maintenant **ALSI** (Applications Logicielles pour les Systèmes Industriels).
- Entre 1994 et 2000, **responsable pédagogique de la 3^{ème} année ESIAL-Spécialité Productive** ainsi que des stages et des projets industriels s'y référant (Président de jury).
- Entre 1993 et 1996, responsable du module de "formation pratique": stages et projets du DESS PAI de l'UFR STMIA.
- Depuis 1995, **responsable** de modules de formation à l'ESIAL (2^{ème} et 3^{ème} année), au DESS PAI, et à l'IUP-GEII option CASI.
- Enseignements dans le domaine "Maintenance" et "Ingénierie des Systèmes Industriels" en cohérence avec ma thématique de recherche et principalement en **2^{ème} cycle** (ESIAL 2A, IUP GEII) et en **3^{ème} cycle** (ESIAL 3A, DESS PAI, DESS SSI, DEA PA).
- Elu au **conseil de l'ESIAL** - collège Maître de Conférences (Autres enseignants et assimilés) en octobre 95 et réélu en octobre 99.
- Participation à la **formation continue** (PAF, Université d'été, Stage de formation d'Entreprise) et à une formation européenne (COMETT).
- **Responsable technique et gestionnaire** entre 1988 et 1992 des différents contrats passés entre le CRAN (anciennement équipe GSIP) et l'EDF/DER de Chatou.

Introduction

Du contexte CRAN ...

Les travaux de recherche présentés dans ce mémoire et intitulés "Contribution à l'Automatisation des Systèmes Intelligents de Production: Interopérabilité des processus de Contrôle, Maintenance et Gestion Technique", ont été effectués, sous la direction du Pr. Gérard Morel, au Centre de Recherche en Automatique de Nancy (CRAN) dirigé par le Pr. Francis Lepage. Le CRAN, Unité Mixte de Recherche 7039 du Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) développe six thèmes de recherche:

- Automatique: Commande et observation des systèmes,
- Surveillance et détection de défauts,
- Instrumentation (robotique, images, signaux),
- Ingénierie pour la santé,
- Productique et Automatisation des Procédés Discrets (PAPD),
- Conception de systèmes sûrs de fonctionnement (CSSF).

En regard des problématiques développées dans ces 6 thèmes, nos travaux s'intègrent à la fois dans le thème CSSF et plus précisément dans le projet "Processus décisionnel en maintenance pour la maîtrise de la sûreté et de la productivité" que nous coordonnons, et dans le thème PAPD et plus précisément dans le projet "Modèles et Méthodes Formelles pour l'automatisation des processus de production" coordonné par J.F. Pétin. Cette double implication se justifie par la nécessité de mener en symbiose des recherches technologiques et appliquées relativement, d'une part, à la finalité et aux organisations des processus et plus précisément celui de Maintenance au sein de l'entreprise (compromis sûreté - productivité¹) et, d'autre part, aux approches de modélisation de ces processus.

... à nos objectifs et motivations pour l'automatisation des systèmes intelligents de production

Dans le prolongement de notre formation initiale, nos travaux de recherche présentés dans cette habilitation relèvent de l'automatique des Systèmes à Evénements Discrets avec un champ d'applications dans l'automatisation de systèmes de production dite continue, du domaine principalement de la production d'énergie (voir chapitre II).

Cette recherche en Automatisation dépasse le cadre conventionnel de l'automatique puisqu'il s'agit, par rapport à la mission globale de production d'un produit conforme aux exigences d'un client (qualité, coût, délai et service), de garantir le fonctionnement du système à automatiser en ne se focalisant pas sur la dynamique des processus de commande et opérant mais plutôt sur les interactions entre ces processus (l'architecture du système), leur lien avec l'environnement, la gestion des flux qu'ils manipulent, ... à l'instar du contexte général de l'automatique défini par le

¹ Réseau Thématique Pluridisciplinaire "Fiabilité, Diagnostic et Tolérance aux Fautes des systèmes complexes". Document de M. Staroswiecki

GDR-717 Automatique² "Le champ d'application de l'Automatique est très varié. Il va des procédés technologiques aux procédés économiques, en passant par ceux du vivant. Dans la compétition internationale, les objectifs principaux sont d'augmenter la productivité tout en améliorant qualité, performance et en garantissant la sécurité. Les **systèmes automatisés** sont des éléments stratégiques clés. **L'approche système** devient incontournable pour assister la mutation du monde industriel tant dans la production et son organisation que dans les produits et la maîtrise technique de ces derniers. Citons sans être exhaustif le recours massif à la simulation, à **l'automatisation, aux systèmes intégrés, hiérarchisés et décentralisés, aux systèmes multi-agents**, ... La caractérisation "système" de l'Automatisation impose donc d'étendre la vue dynamique des processus de commande et opérant afin de prendre en compte l'aspect fonctionnel, organisationnel et opérationnel du système de production préalablement à l'aspect comportemental (Morel et Zaremba, 2001). En ce sens, automatiser un système industriel de production est une activité qui ne restreint pas seulement les fondements de la cybernétique à la modélisation de tout ou partie d'un système technique (comment réaliser le système?) mais les applique à l'ensemble du système socio-technique en prenant en compte les intentions (pourquoi faire le système ?) des acteurs de cette modélisation (Lhote et al., 1999). Ceci correspond à un des objectifs majeurs du Génie Automatique formalisé par (Frachet, 1987) puis étendu par (Morel, 1992) à "L'application de méthodes scientifiques au développement de théories, méthodes, techniques, langages et outils favorisant la production de systèmes automatisés de qualité".

Cette recherche en Automatisation pour la modélisation de systèmes de production d'énergie se justifie aussi par le caractère hybride de leur modélisation qui allie des modèles d'évolution à événements discrets à des modèles à temps discrets pour contrôler, gérer et maintenir tant le processus³ "physique" (modifiant des flux physiques en lien avec le produit) que la finalité du procédé. En ce sens, (Galara et Henebicq, 1999) proposent, en cohérence avec les principes d'ingénierie et d'intégration de systèmes (Meinadier, 1998) de considérer le processus "physique" comme un système à finalité stable (processus de création de la valeur ajoutée) manipulant la matière et l'énergie à **transformer** pour obtenir le produit attendu (par exemple l'électricité). Il se définit ainsi par 3 représentations:

- des transformations de la matière et de l'énergie de type **synchronique** (dans un état stable du processus physique) ou **diachronique** (entre états stables du processus physique). Chaque transformation ou tâche effectuée sur l'objet produit est caractérisée par des attributs physiques et sémantiques (fonctionnalité "de service" du produit) sans référence à la ressource assignée. La transformation appartient à un processus dit nominal (fonctionnement recherché) ou non nominal qui remplace momentanément le processus nominal si l'objectif souhaité n'est pas atteint (pallier des dégradations ou des défaillances).

² Le Groupement de Recherche en Automatique – GdR 717 – Bilan de l'Activité 1998-2001. Document CNRS pour l'évaluation du GdR rédigé par Dorothee Normand-Cyrot

³ *Un processus est un agencement structuré et ordonné de tâches de finalités similaires relatives à une même type d'objets (matériels et informationnels ...). Le but à atteindre est défini par une consigne (tâche) alors que l'action mise en œuvre pour atteindre ce but est une activité.* (Dulmet et Lhote, 2001)

- une **structure** en relation avec le produit et composée d'un réseau de ressources actives (les actionneurs, les capteurs) et passives (les cuves, les tuyaux). Chaque ressource est caractérisée par des attributs physiques et sémantiques garant de la tâche à remplir pour satisfaire à la transformation. Cette dualité objet-ressource introduit une récursivité des affectations des tâches, donc une **récursivité des mécanismes organisationnels** qui se déploient sur plusieurs niveaux correspondant à des échelles de temps de plus en plus grandes.
- un comportement ou fonctionnement transitoire du processus physique pour évoluer entre états stables.

Contrôler, Maintenir et Gérer techniquement le "processus physique", à partir des décisions prises par les opérateurs, consiste alors à mettre en œuvre un modèle processif (Dulmet et Lhote, 2001), composé au minimum de ces trois processus processant des objets informationnels et dont la tâche globale est de piloter et de synchroniser aux états stables (discrétisation), l'exécution des tâches de niveau ressource afin de conserver à leur valeur nominale, **les attributs** de la structure et des transformations en accord avec les besoins utilisateurs:

- le processus de contrôle (au sens conduite) doit garantir la mission d'exploitation du système afin de délivrer le bon produit avec une contrainte de sécurité maximale.
- le processus de maintenance a pour objectif principal d'assurer la disponibilité des moyens de production à un moindre coût.
- le processus de gestion technique cherche à optimiser la phase d'exploitation en proposant des modifications dans les procédures, les outils ou les matériels de maintenance ou de conduite. Il doit assurer aussi l'intégration (a) du contrôle et de la maintenance par une gestion des données techniques manipulées par ces deux processus en regard des besoins exprimés par les utilisateurs, (b) du couple (contrôle, maintenance) et de la gestion d'Entreprise par des traitements de gestion technique offrant des services d'évaluation de la disponibilité et des coûts d'indisponibilité des moyens de production.

Chacun des processus contribue ainsi à la finalité "produit" (optimisation des performances globales attendues) en n'évoluant pas indépendamment les uns des autres mais bien de façon couplée aussi bien d'un point de vue "extrinsèque" pour résoudre le partage des ressources communes, "qu'hybride" pour faire cohabiter des processus de degrés divers et à tâche différente au sein d'une même architecture. L'optimisation des performances de l'Automatisation dépend en conséquence en grande partie

- de la sémantique et de la fiabilité de la représentation informationnelle (bus informationnel) du flux physique mis à disposition des processus de niveau finalité par les objets capteurs et actionneurs du niveau ressource. Ceci a eu pour conséquence essentielle dans les systèmes industriels une distribution d'une forme d'intelligence technique (Westkampfer, 1999) directement au niveau de la structure, pour faire évoluer les composants classiques vers des composants dits "intelligents" ou mécatroniques (Iserman, 1996) dont le déploiement au sein d'une architecture pour accomplir la finalité de l'application dépend en grande partie de leur degré d'interopérabilité (Staroswiecki et Bayart, 1996).

- du degré d'intégration entre ces trois processus pour partager, autour d'un système d'informations commun, la représentation du processus physique relativement à ses attributs sémantiques complémentaires (coût, délai, sécurité, disponibilité, ...).

Par conséquent, des deux mots clés "Intelligence Distribuée" et "Intégration" qui sous-tendent la caractérisation de ces systèmes émerge, pour leur modélisation, le compromis à résoudre entre deux paradigmes:

- d'une part, celui d' "intelligence distribuée" par la répartition du traitement, de la communication et de la mémorisation de l'information technique dans les équipements de terrain afin de rendre localement **adaptable** et **réactif** le fonctionnement de ces systèmes,
- d'autre part, celui d'intégration des processus d'automatisation de contrôle, de maintenance et de gestion technique qui composent couramment un système industriel de production afin de rendre **globalement** cohérent le fonctionnement de ces systèmes.

Cette double caractérisation "intégration/distribution" coïncide pour l'architecture des systèmes industriels de production à une substitution au modèle hiérarchisé courant d'un modèle distribué pour le traitement, la mémorisation et la communication des informations techniques en défendant qu'il n' y a pas strictement une dichotomie entre architecture hiérarchisée et architecture distribuée mais en fait un compromis à trouver entre les deux structures (Bongaerts et al., 2000).

La résolution de ce compromis correspond en quelque sorte à la **genèse** de l'ensemble de nos travaux [INV3] et plus précisément ceux de recherches technologiques en lien avec le monde industriel. En effet, en regard des problématiques industrielles (voir chapitre II), nous avons principalement visé à proposer des solutions de R&D pour conférer aux architectures des systèmes intégrés de contrôle, maintenance et gestion technique à base de composants interopérables, les critères de réactivité et de globalité demandés par les industriels, tout en déployant des méthodes de modélisation principalement qualitatives accompagnées éventuellement par une approche de validation/vérification⁴. Nous avons ensuite tiré profit, dans le cadre de nos travaux de recherches "appliquées" de ces applications pour, sur la base d'une rationalisation scientifique des résultats, améliorer des approches de modélisation afin de garantir la pérennité du processus de modélisation et proposer ainsi des méthodes de modélisation couplant qualitatif et quantitatif. Dans le cas particulier de nos systèmes, cette formalisation de l'approche de modélisation doit garantir que l'ensemble des fonctionnements locaux distribués assure un fonctionnement global intégré.

Pour mieux appréhender chacune des problématiques auxquelles nous avons été confrontés, nous proposons dans le chapitre suivant, de poser le cadre de modélisation de nos systèmes intégrés de contrôle, maintenance et gestion technique à base de composants interopérables, **en général par rapport à la modélisation de systèmes de production**, afin de positionner, d'une part, les différentes approches de modélisation en regard des critères que nous voulons conférer au fonctionnement de ces systèmes (architectures) et, d'autre part, les

⁴ La finalité de l'approche de validation (exécution de modèles de simulation) - vérification (démonstration de certaines propriétés à partir de techniques formelles) est de montrer voire de prouver la concordance entre un modèle particulier et un système réel et/ou l'expression des besoins utilisateurs.

différentes méthodes de modélisation déployées pour qualifier ces approches en sachant qu'une même approche de modélisation peut être mise en œuvre par plusieurs méthodes.

Ce positionnement reprend, en le réactualisant, le cadre de modélisation de ces systèmes (dénommés alors SIPID pour Systèmes Intégrés de Production à Intelligence Distribuée) que nous avons proposé dans la thèse de E. Neunreuther [TH2].

Nous avons ainsi appliqué:

- en l'interprétant, la démarche EICM "Enterprise Integration Capability Model" de (Hollocks et al., 1997) (Tableau 1) afin de proposer une métrique en 5 niveaux de caractérisation des modèles ou architectures des systèmes de production. En regard du double critère intégration/distribution, cette interprétation nous conduit à identifier les architectures hiérarchisées, intégrées, distribuées (interopérables) et intelligentes correspondant à une évolution à partir du niveau 2, d'une forme de hiérarchie classique basée sur la coordination vers une forme, pour le niveau 5, de hiérarchie "très à plat" (hétérarchie, "flat structure") basée sur une auto-organisation satisfaisant aux critères d'adaptabilité et d'agilité (Pels et al., 1997). Pour chacune de ces organisations hiérarchique, intégrée, distribuée et intelligente, nous avons ensuite proposé une seconde interprétation de la métrique EICM en 5 niveaux de positionnement relativement aux approches de modélisation qui semblent les plus appropriées pour la représentation des architectures correspondantes.
- en l'interprétant, le modèle CMM "Capability Maturity Model"⁵ introduit par (Paulk, 1995) (Tableau 2) en génie logiciel pour qualifier et quantifier selon une métrique de 5 niveaux, l'approche de modélisation des systèmes de production pour valider et vérifier la cohérence des différents modèles tout au long du cycle de vie. *The essence of the model is that several quality levels can be recognised. An organisation can go from one stage to another and thus grow from having no quality management to a mature situation with a very high level of quality control.* Cette métrique peut se comparer comme proposé par (Van der Pijl et al. 1997) au standard ISO9000 en assurance qualité.

Niveau 5: Adaptable	Les processus sont capables de s'auto organiser et de s'adapter à des variations inconnues de leur environnement
Niveau 4: Interopérable	Les processus peuvent coopérer en utilisant les services d'autres îlots pour atteindre leurs objectifs
Niveau 3: Visible	Les processus sont capables de s'informer mutuellement en produisant des données compréhensibles pour leur environnement
Niveau 2: Rigide	Les processus sont coordonnés par des liens rigides
Niveau 1: Processus Fragmentés	Les processus sont cloisonnés et opèrent de façon indépendante

Tableau 1: Métrique "Enterprise Integration Capability Model" (Hollocks et al,1997)

⁵ <http://www.sei.cmu.edu/cmimi/models/model-components-word.html>

Quantitatif	Niveau Optimisé 5:	Amélioration continue du procédé par retour d'expérience quantitatif	Focus on process improvement and rapid technology updating
	Niveau Observable 4:	Le procédé et la qualité du logiciel produit sont observables	Process understood, measured and controlled
Qualitatif	Niveau 3: Défini	Le procédé est documenté et peut être partiellement automatisé	Tailored standards for each project
	Niveau 2: Reproductible	Le procédé est explicite et peut être reconduit d'une application à l'autre	Cost controlled
	Niveau 1: Initial	Le procédé n'est pas explicite	Ad-hoc, sometimes chaotic

Tableau 2: Métrique "Capability Maturity Model" (Paulk, 1995)

Cette triple interprétation nous permet de positionner clairement le cadre de modélisation de nos systèmes en soulignant l'interconnexion voire l'interopérabilité de nos recherches technologiques et appliquées se "nourrissant" et s'enrichissant de problématiques mutuelles (Tableau 3).

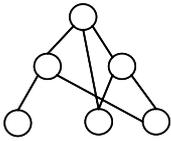
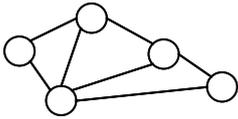
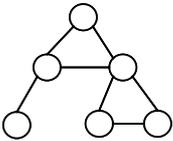
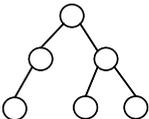
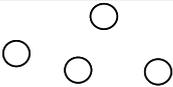
< Recherche Technologique		><	Recherche Appliquée >	
Architecture ou modèle des systèmes		Méthode de modélisation	Approches de Modélisation	
Intelligent "Organisation Holarchique"		La méthode de modélisation explicite la rétroaction de la validation et/ou de la vérification de modèles de systèmes particuliers sur l'approche de modélisation de ces systèmes	Approches Kénétiques (HMS, MAS)	
Distribué "Organisation Hétérarchique"		La méthode de modélisation explicite l'approche de validation et/ou de vérification de modèles particuliers	Approche d'Ingénierie Simultanée (Ontologies)	
Intégré "Pyramide C.I.M."		La méthode de modélisation explicite l'approche de modélisation d'un système	Approches Systémiques (CIMOSA, GERAM)	
Hiérarchique "Organisation ARMF"		La méthode de modélisation explicite la modélisation d'un système particulier par l'identification d'analogies entre des modèles existants et le système à modéliser	Approches Cartésiennes (IDEF, MFA)	
Fragmenté		Le procédé n'est pas explicite	Absence d'approche	

Tableau 3: Interprétation des métriques EICM et CMM pour la caractérisation générale des systèmes de production

Cette dualité dans nos recherches initiée dès 1989 dans le cadre de nos travaux de thèse pour une première contribution à l'évolution des architectures hiérarchisées des systèmes de production d'énergie électrique, est effective aujourd'hui d'un point de vue industriel sur des problématiques de systèmes intelligents de maintenance et d'un point de vue académique sur une contribution à la modélisation de ce processus de maintenance par la formalisation et l'expérimentation de nouveaux paradigmes d'organisation industrielle issus de l'IAD (Intelligence Artificielle Distribuée) comme les systèmes multi-agents.

Cette évolution des problématiques à la fois sur la partie technologique et sur la partie appliquée correspond aussi à la logique d'évolution scientifique en 4 grandes périodes de nos activités de formation par la recherche (Figure 1) se synchronisant sur les quatre thèses et le post-doctorat que nous avons co-encadrés ou co-dirigés.

Période	1	2	3	4
Projets	DIAS	PRIAM - EIAMUG	REMAFEX - PRIMA EIAM-IPE	CENNET IMS - NOE
Thèses	B.IUNG	JF PETIN	E. NEUNREUTHER JB LEGER - Y LIU	Post doc. YU R.
Adaptable				Vers des Systèmes Intelligents de Fabrication
Interopérable	Interopérables de classe A	Interopérables de classe B	Interopérables de classe C	
Visible	Systèmes Intégrés de Contrôle, Maintenance et Gestion Technique à base de composants ...			
Rigide				
Fragmentés				

EICM

Figure 1: Positionnement des activités de formation par la recherche par rapport à la métrique d'architecture des systèmes.

I. Cadre de modélisation des systèmes intégrés de contrôle, maintenance et gestion technique à base de composants interopérables

La modélisation d'un système de production en général nécessite de caractériser aussi bien le résultat de la mise en œuvre de l'approche de modélisation, c'est à dire le modèle du système, que l'approche de modélisation elle-même.

Nous présentons ainsi, en confortant les travaux de E. Neunreuther [TH2], successivement les modèles ou architectures des systèmes de production mais aussi leurs approches et méthodes de modélisation dans le cadre du compromis intégration/distribution (interopérabilité) que doivent satisfaire les systèmes intégrés de contrôle, maintenance et gestion technique à base de composants interopérables.

1. Architectures de systèmes de production

Au sens de (Lemoigne, 1984) les modèles ou architectures des systèmes de production sont une représentation que l'on induit des systèmes réels, et que l'on déduit de spécifications utilisateurs selon le double point de vue d'intégration et de distribution. *We consider architecture of a system or product as the result of a design process. It is a set of specifications, which express the functions of components and their interfaces* (Pels et al., 1997).

Ce double critère de modélisation nous amène à présenter conjointement les architectures hiérarchisées, intégrées, distribuées et intelligentes des systèmes de production pour principalement identifier les propriétés de ces architectures et plus précisément celles qui caractérisent l'architecture de nos systèmes (degré d'intégration pour assurer un fonctionnement global cohérent et leur degré de distribution pour permettre l'adaptabilité et la réactivité de ce fonctionnement).

1.1 Système hiérarchisé

Les premières représentations des systèmes de production ont appliqué la théorie des systèmes hiérarchisés (Mesarovic et al., 1970) aux systèmes tant continus que discrets (Titli, 1975).

L'interprétation de cette théorie aux systèmes de production a pour effet d'agencer leur architecture en niveaux de décision pour lesquels un niveau supérieur définit les contraintes et les objectifs à atteindre. Les organisations les plus représentatives, pour les organisations de systèmes de production manufacturière sont le modèle d'atelier du NIST (anciennement NBS) ou l'organisation de commande de l'A.M.R.F. (Automated Manufacturing Research Facility) (Simpson et al., 1982) reprise dans les travaux de thèse de (Chaillot-Subias, 1995).

Ces types d'architectures existent dans le domaine des équipements intelligents mais pour une notion d'intelligence rattachée ici à une simple notion d'autonomie (critère recherché cependant dans nos systèmes) telle qu'implantée dans les "intelligent control" (Antsaklis, 1994) et des "smart actuators and sensors" (Masten, 1998). Ils diffèrent cependant de notre problématique d'automatisation par l'absence

de coordination entre les fonctions de contrôle, de maintenance et de gestion technique au niveau terrain.

1.2 Système intégré

Pour faire face au besoin croissant de flexibilité, de compétitivité nécessaires pour satisfaire au mieux les exigences des utilisateurs, les années 80 ont vu l'évolution, dans le domaine manufacturier, des systèmes hiérarchiques trop rigides vers des systèmes intégrés de production utilisant **l'information** comme vecteur d'intégration de l'ensemble des fonctions afin de former un tout cohérent (Vernadat, 1996). Ce concept d'intégration plus connu sous le vocable C.I.M. (Computer Integrated Manufacturing) (Ranky, 1986) et C.I.M.E. (Computer Integrated Manufacturing Engineering) (Morel, 1992) pour son aspect ingénierie repose ainsi sur une matière première tant informationnelle que matérielle faisant du système d'informations l'épine dorsale du système de production pour assurer la cohérence, la fiabilité, et la synthèse des informations propres à chaque niveau décisionnel identifié (Roboam, 1988). En effet le système d'Informations au sens de (Morel, 1992) devient l'élément central permettant de réaliser l'interface entre le Système Opérant et le Système de Pilotage (Lemoigne 1984). L'architecture qui résulte de la coordination des fonctions de production (du terrain au pilotage) autour de ce système d'informations constitue une pyramide "hiérarchique" (Figure 2), dans laquelle chaque fonction rend ainsi **visible son image** aux fonctions hiérarchiquement supérieures de la pyramide (liens de subordination).

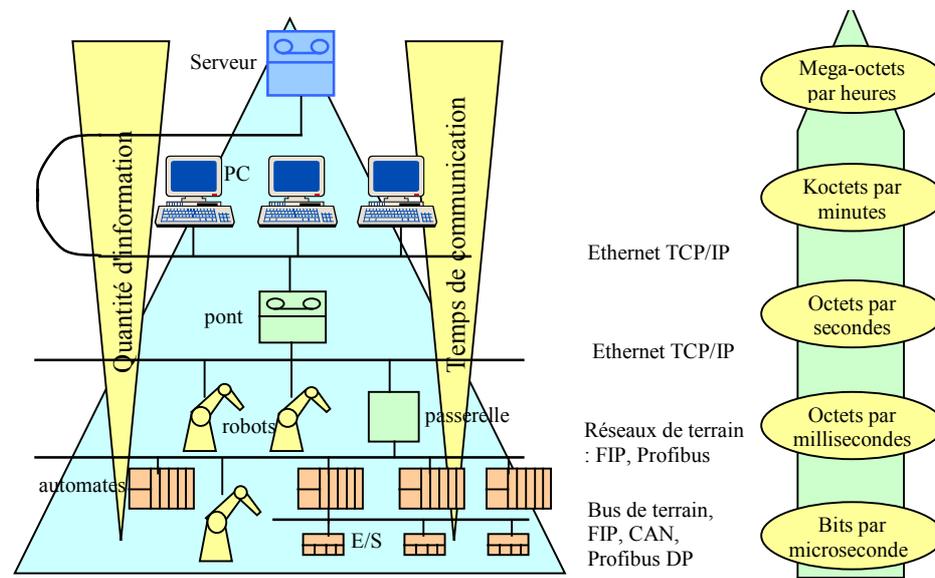


Figure 2: Pyramide C.I.M.

Par rapport à cette pyramide, l'émergence des NTIC a eu pour impact de "l'aplanir", c'est-à-dire de fusionner certains niveaux afin de décrire les niveaux non plus sous une approche quantitative mais plutôt fonctionnelle. Par exemple, (Berger, 1998) propose même une architecture uniquement sur deux niveaux: un niveau terrain ou "shop floor" en lien avec le produit à travers les ressources, et un niveau Business coordonnant le niveau terrain avec les autres fonctions de l'entreprise. En ce sens, au niveau de l'entreprise globale, des solutions progicielles (ERP, SCM) ont pour objet d'assurer l'intégration des processus d'entreprise. Au niveau terrain ou atelier, l'émergence de nouveaux produits de gestion technique de la production (APS,

MES) permet de collecter grâce à une interface temps réel avec les automatismes, les informations liées à la production et à la qualité. Ce découpage entre niveau de **gestion** et niveau **d'exécution** fait cohabiter sur des sites de production, deux types de systèmes qui ne communiquent pas ou mal car leurs objectifs, leurs bases de temps, leurs utilisateurs et leurs technologies diffèrent alors qu'ils ont besoin de partager des informations communes. L'intégration entre ces différents niveaux et le système automatisé est une problématique importante qui nécessite l'utilisation conjointe de modèles aptes à représenter les informations techniques manipulées par chacun d'eux. D'un point de vue industriel, des normes sont en cours de développement pour assurer la standardisation de la représentation des données et des processus de production ou d'entreprise (CEN ENV 12204, ISO 10303 STEP, ISA SP95.01, ...) (Chen et al., 2001). Dans le domaine des systèmes de production dite continue, cette hiérarchisation en différents niveaux du processus décisionnel est beaucoup moins marquée que dans le manufacturier car la synchronisation entre les différents composants de terrain est fortement contrainte par la nature continue du flux physique.

En effet, ces systèmes sont généralement caractérisés par un faible degré d'automatisation limité à des automatismes réflexes qui réalisent ainsi l'interface entre la fonction décisionnelle confiée aux opérateurs et le système physique.

Dans un tel contexte, les prises de décision, reposant en grande partie sur les informations en provenance des **actionneurs et capteurs** (la structure), sont confrontées à un effet de volume des informations à traiter, engendré par la multiplicité des indicateurs concernant l'état du système de production, et au degré de pertinence de ces informations. En ce sens, les actionneurs et capteurs sont considérés en fin de compte comme de véritables "Talons d'Achille" pour la sûreté de fonctionnement et la flexibilité de ces systèmes à cause, d'une part, d'une connexion point à point de ces composants vers les unités d'automatisation, et d'autre part, de leur cloisonnement technologique qui peut entraîner des incohérences informationnelles aux conséquences parfois catastrophiques (accidents de Three Miles Island ou Tchernobyl). Il est vrai que classiquement, dans la plupart des architectures opérationnelles, les composants de terrain se limitent à du traitement de signal (4-20 mA) voire de données brutes qui caractérisent le phénomène physique. Ces signaux ou données ne sont pas assez efficaces et représentatifs pour être utilisés directement comme des informations fiables sur l'état du processus (besoin d'un bus informationnel image exacte du processus physique).

"Les problèmes clefs sont: comment extraire autant de données à temps et, comment extraire une connaissance effective de ces données ? Les opérateurs font souvent face à des situations où ils reçoivent des informations conflictuelles concernant l'état du système qu'ils conduisent. Ces opérateurs doivent donc faire des suppositions quant à l'état du processus et prendre des décisions à partir des données incomplètes et/ou incertaines" (Venkatasubramanian, 1994).

Cette problématique quelque peu différente de celle des systèmes intégrés manufacturiers, a justifié l'émergence du concept de CIP (Computer Integrated Process) introduit par (Rao et Wang, 1993) comme l'analogue du CIM dans le domaine du process et qui met l'accent sur un système d'informations **fiables** (pour éviter d'avoir à juger de leur pertinence) et **synthétiques** (pour permettre aux opérateurs de prendre rapidement la bonne décision).

Ce besoin d'informations fiables et synthétiques est une problématique émergente dans nos collaborations industrielles à laquelle nous avons répondu, en proposant le **concept CMMS** (integrated Control, Maintenance and technical Management

System) comme un concept d'intégration des fonctions de Conduite, Maintenance et Gestion Technique au niveau terrain.

Il est cependant à noter que si ce type d'architecture intégrée permet de coordonner les processus de contrôle, de maintenance et de gestion technique de nos systèmes, il ne permet pas la répartition de ces processus dans les équipements de terrain.

1.3 Système distribué

Les Systèmes Distribués de Production ont pour objet d'agencer en processus de production que l'on voudrait coopérants (Thomesse, 1999), des architectures de systèmes intégrés de production. Cette évolution, directement liée aux évolutions des technologies de l'information, remet en cause l'architecture hiérarchique purement pyramidale des systèmes intégrés de production afin d'améliorer la disponibilité de l'information au bon moment et au bon endroit (Heiler, 1995). Le terme distribué ou réparti est utilisé pour désigner le fait que l'application ne soit pas centralisée⁶ (MESR, 1995). L'architecture qui résulte de la distribution de ces processus d'automatisation autour de multiples médias de communication, constitue une hétéarchie (Pels et al., 1997) dans laquelle la coopération de ces processus dépend de leur interopérabilité.

Dans l'industrie manufacturière (canevas proposé par le SEmiconductor MAnufacturing TECHnology)⁷, l'interopérabilité est définie en trois niveaux principaux:

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

Dans la communauté "Automatique des Réseaux ... de terrain" (Thomesse, 1999), le terme interopérabilité est plutôt réservé à la classe A et implique un principe de normalisation (avec un principe de conformité) alors que le terme **inter fonctionnement** est réservé à la classe B et C pour représenter l'ensemble de l'équipement constitué de tout ce qui est normalisé et des processus d'application. Dans cette définition de l'interopérabilité est aussi introduit pour des composants, la notion de compatibilité de leurs services, de leurs protocoles, de leurs ressources et de leurs performances temporelles. Le respect de cette interopérabilité principalement à travers la mise en œuvre du service directement au sein du

⁶ Une application est toujours composée d'algorithmes, d'informations ou de données et d'un schéma de contrôle d'exécution des algorithmes et de gestion des accès aux informations. La notion de distribution, répartition peut concerner chacun de ces trois éléments. (MESR, 1995).

⁷ Sematech (1995), 'Device Interoperability Guideline for Sensors, Actuators, and Controllers', Technology Transfert 94102567A-STD, February. www.sematech.org

composant, a eu pour conséquence essentielle de faire évoluer l'instrumentation classique vers une instrumentation plus "intelligente" en cherchant à doter chaque composant de capacités leur permettant, à partir des phénomènes physiques observés, d'élaborer des données précises puis des informations et de les transmettre par réseaux de communication vers les processus d'automatisation.

Ce principe est par exemple appliqué au niveau terrain pour les organisations de S.A.P.I.D. (Systèmes Automatisés de Production à Intelligence Distribuée) (Bayart, 1994) où les composants (actionneurs, transmetteurs) coopèrent de façon plus ou moins flexible pour réaliser la finalité application requise.

Dans le cadre de nos collaborations, ce besoin en interopérabilité des applications distribuées nous a conduit à proposer pour nos systèmes, premièrement le concept de **Capteur et d'Actionneur dits Intelligents** en promouvant la distribution de l'information technique directement dans les composants de terrain en opposition avec les architectures hiérarchiques conventionnelles puis celui de fonction **d'Actionnement et de Mesure dits Intelligents** comme une évolution du concept technologique d'Actionneurs et de Capteurs dit Intelligents vers un niveau fonctionnel.

Il est à noter que si ce type d'organisation permet aux équipements de terrain de l'architecture de nos systèmes d'interopérer, en d'autres termes de coopérer pour réaliser un processus de contrôle, de maintenance ou de gestion technique, il ne permet pas l'intégration de ces processus.

1.4 Système "intelligent"

La problématique des systèmes intelligents de production au plan international fait l'objet des orientations scientifiques et techniques de la communauté IMS (Intelligent Manufacturing Systems) qui fédère des travaux, depuis 1989, en Automatique, Informatique et Mécanique afin de définir les technologies de e-production (Yoshikawa, 1995).

En effet dès la fin des années 1980, les ingénieurs japonais s'accordaient à dire que le concept CIM "*arrivait dans une impasse et s'épuisait, une nouvelle approche radicale de la production était nécessaire*" (Alan, 1990). En ce sens, (Kusiak, 1990), (Parunak, 1996) ont mis en évidence un certain nombre de "lacunes" des systèmes intégrés de production: manque de flexibilité pour satisfaire à la diversification des produits, pour parer à une interchangeabilité (interopérabilité de classe C) de composants, pour prendre en compte des facteurs humains forts, ... Ces lacunes ne permettent pas de répondre aux nouveaux besoins du marché et faire face à la concurrence c'est à dire de conférer à l'entreprise une caractéristique nécessaire d'**agilité** à partir d'une **adaptabilité** de la production telle que prônée par la nouvelle génération de systèmes industriels (Next Generation Manufacturing System).

Agility relates to the interface between the company and the market. Essentially, it is a set of abilities for meeting widely varied customer requirements in terms of price, specification, quality, quantity and delivery.

Adaptability is a feature of the company's production system. It is the inherent ability to adjust or modify its cost performance according to demand. (Katayama and Bennet, 1997).

Certains groupes se sont ainsi créés comme le CAM-I Japan Interest Group cherchant à s'inspirer des comportements biologiques pour la mise en œuvre de systèmes de production. **La voie proposée est une rupture fondamentale avec les systèmes traditionnels pour s'orienter vers des principes biologiques, c'est**

à dire vers la vie artificielle. L'une des raisons de l'apparition de ces nouveaux paradigmes est le fait qu'actuellement nous soyons arrivés dans une impasse où la technologie seule n'est plus la solution aux problèmes actuels des systèmes de production ... (Langer, 1999). En ce sens, (Christensen, 1994) a proposé d'intégrer une réelle intelligence dans chacune des entités du système de production qui seront ainsi autonomes, capables de s'adapter à leur environnement et de co-opérer pour satisfaire à la finalité globale. Ces entités intelligentes⁸ sont le fondement des systèmes intelligents de production plus à même de prendre des décisions, d'agir dans un environnement, de communiquer et de se développer. La notion d'intelligence est ici rattachée à un concept de système tel que défendu par (Albus, 1991) (module RCS4) plus qu'à une simple notion d'autonomie telle qu'implantée dans les "intelligent control".

Un composant intelligent (Figure 3) au sens de (Albus, 1991), possède des capacités de perception, d'analyse, de décision et d'action, lui permettant de co-opérer avec d'autres à la réalisation d'un objectif commun dont il est possible d'évaluer la réalisation sur la base d'une image virtuelle de leur environnement respectif (World Model) matérialisée par le système de connaissance global.

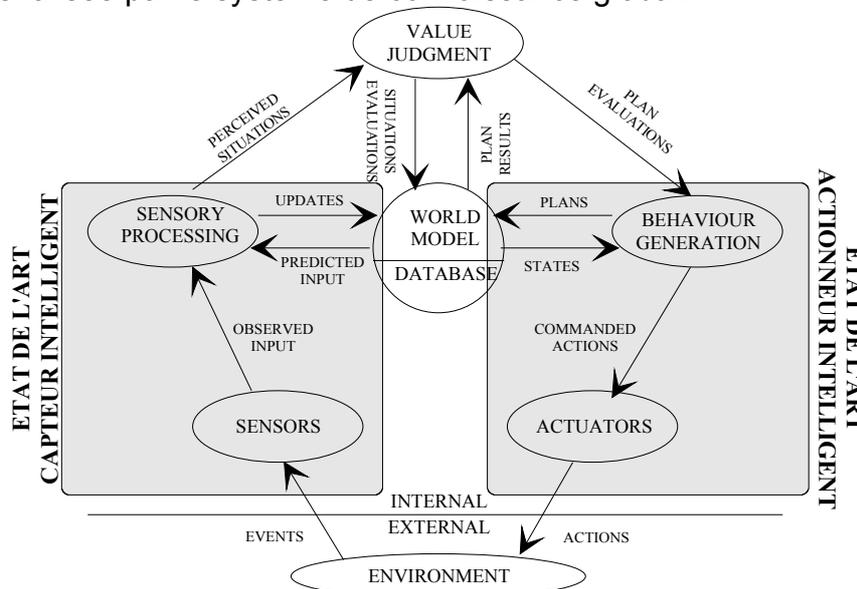


Figure 3: Eléments de l'intelligence (Albus, 1991)

La structuration de cette connaissance au niveau entreprise est considérée par (Zaremba et Morel, 2003) comme l'élément le plus représentatif de la complexité organisationnelle (Figure 4) impliquant pour chacun de ces degrés, différents types d'intelligence à conférer aux systèmes de production.

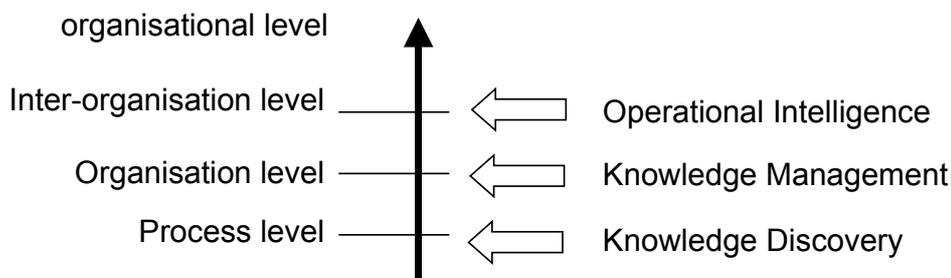


Figure 4: Organisational complexity dimension (Zaremba et Morel, 2003)

⁸ PABADIS IST-1999-60016 "Plant Automation based on Distributed Systems". Task 1.1. March 2001.

Relativement à ces niveaux, de nombreuses applications⁹ (par exemple dans la communauté multi-agents), ont déjà été développées à partir de ce concept d'adaptabilité, de co-opération des systèmes intelligents de production comme ceux initiés dès 1994 par (Duffie et al., 1994) pour les systèmes de pilotage auto-organisés. En manufacturier, (Valckenaers et al., 1994) ont proposé, à partir d'une étude comparative entre différentes approches mises en œuvre sur un système d'assemblage, de différencier un système intelligent de production par rapport aux caractéristiques **d'adaptabilité, d'autonomie, de robustesse, d'agilité et de coût initial**.

La prise en compte de ces critères a pour conséquence essentielle pour les architectures de ces systèmes intelligents de production, une évolution vers des architectures "molles" - "très à plat" basée sur une auto-organisation en sachant qu'à l'instar de (Bongaerts et al., 2000), il n'y a pas nécessairement une dichotomie stricte entre architectures hiérarchiques et hétérarchiques mais plutôt une recherche de compromis pour respecter les contraintes industrielles de ces systèmes.

Les systèmes holoniques de production (HMS: Holonic Manufacturing Systems) apparaissent ainsi comme la quintessence du compromis recherché entre des architectures intégrées en tant qu'ensemble cohérent au sein de ces systèmes, et des architectures distribuées en tant que parties réactives à l'environnement de ces systèmes. L'approche holonique¹⁰ est basée sur l'interprétation du concept d'Holon ("Holos" signifiant entier, "on" signifiant partie) proposé par (Koestler, 1989) pour les systèmes sociaux, aux systèmes de production (Figure 5). Les holons sont composés d'une partie traitement du flux physique et d'une partie traitement du flux informationnel. Ils agissent comme des entités individuelles autonomes et qui pourtant coopèrent pour former des holarchies complexes et spontanées de sous systèmes.

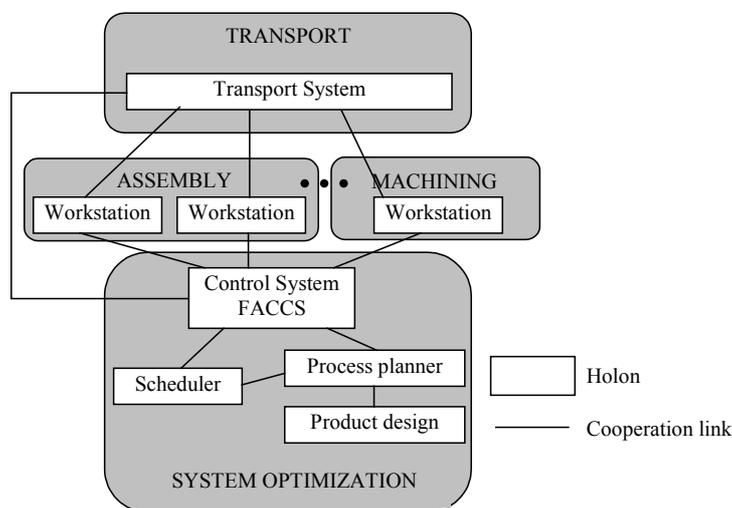


Figure 5: Système holonique d'assemblage de l'université de Leuven (Belgique)

Il faut remarquer que les applications actuelles de ces nouvelles formes d'organisation se focalisent principalement sur le niveau pilotage des systèmes de

⁹ Proceedings of the 1st IFAC-MAS'99 Workshop on Multi-Agent-Systems in Production, Vienna, Austria (1999); Recueil "Multi Agent Systems and Applications", Eds. Springer-Verlag (2001) ISBN 3-540-42312-5; Recueil "Intelligent Agents: Specification, Modelling, and Applications" Eds. Springer-Verlag (2001) ISBN 3-540-42434-2; Proceedings of the 2nd International Workshop on Intelligent Manufacturing Systems, Leuven, Belgium (1999), ...

¹⁰ <http://www.mech.kuleuven.ac.be/pma>

production. Ceci nous a amené pour nos travaux sur les systèmes intelligents de maintenance à tenter d'évaluer l'efficacité de ces concepts, en complémentarité du niveau pilotage, sur le **niveau exécution "temps réel"** mais aussi sur la coopération entre les deux niveaux.

1.5 Synthèse

Cette présentation des principaux types d'organisation des systèmes de production montre qu'il n'y a pas strictement une dichotomie entre architecture hiérarchisée et architecture distribuée mais en fait un compromis entre les deux structures. Alors que les évolutions techniques ont favorisé au cours du temps l'émergence d'un type d'organisation plutôt qu'un autre, les travaux de modélisation initiaux de (Mesarovic, 1962) proposaient déjà le critère d'autonomie pour les systèmes de production, alors qu'à contrario, ceux plus récents sur les HMS maintiennent une forme de contrôle. En ce sens, l'architecture d'un système intégré de contrôle, maintenance et gestion technique à base de composants interopérables résulte plutôt d'un relâchement de la hiérarchisation de son organisation en fonction des critères d'interopérabilité liés à sa distribution, et de visibilité liés à son intégration que nous voulons conférer à ces architectures. Aussi l'architecture de nos systèmes procède d'un compromis entre architecture intégrée pour la coordination des processus de maintenance, de contrôle et de gestion technique, et architecture distribuée pour la répartition de ces processus d'automatisation dans les composants interopérables.

2. Approches de modélisation de systèmes de production

Cette évolution dans l'architecture des systèmes de production nous amène à présenter leurs approches de modélisation de façon à rendre compte de leur capacité à résoudre le compromis intégration/distribution qu'elles doivent satisfaire. Ces approches de modélisation explicitent plus ou moins la démarche mise en œuvre pour modéliser un système de production à partir de besoins utilisateurs.

Dans le développement d'un système, l'approche de modélisation est accompagnée par une approche de validation/vérification dont la finalité est de montrer la concordance entre un modèle particulier et un système réel et/ou l'expression de besoins utilisateurs.

Par conséquent, nous présentons pour chaque type d'organisation: hiérarchique, intégrée, distribuée et intelligente, l'approche de modélisation qui semble la plus adéquate pour la représentation de son architecture afin de pouvoir choisir et éventuellement améliorer par nos travaux de recherche appliquée, la plus adaptée à la modélisation de nos systèmes et de leurs évolutions. Ce choix conceptuel est complété par une méthode de validation/vérification des modèles de l'approche la plus appropriée.

2.1 Modélisation d'un système hiérarchisé

La mise en œuvre d'un système hiérarchisé implique de décomposer ce système en sous-systèmes de complexité moindre qui seront contrôlés par les niveaux

supérieurs. La construction intellectuelle, qui conduit à cette décomposition, s'appuie sur le paradigme cartésien.

" *La construction intellectuelle qui incarne le plus fidèlement le discours cartésien est, sans conteste, le paradigme de la mécanique classique. Selon cette approche, tout objet est susceptible d'être expliqué, plutôt que décrit. Cette explication se fonde sur l'identification de la structure de l'objet. Celle-ci est unique, invariante et permet, à elle seule à représenter et d'expliquer l'objet*" (Lemoigne, 1984).

Les approches de modélisation cartésiennes sont basées sur l'analyse fonctionnelle des systèmes, qui décomposent hiérarchiquement une fonction en sous-fonctions jusqu'à atteindre un niveau de décomposition suffisamment fin pour leur codage. Les méthodes SADT, IDEF0 ou le modèle générique G.A.M. (Generic Activity Model) sont basés sur cette approche.

Dans le domaine de la modélisation des systèmes automatisés de production, de nombreux travaux s'appuient sur une approche de modélisation cartésienne. Les plus anciens, comme ceux menés au N.I.S.T. (Albus, 1993) sur les modules R.C.S. (Real Time Control System) ou par (Lhoste, 1985) sur les M.C.C. (Modules de Contrôle Commande), se sont essentiellement focalisés sur la structuration hiérarchique des organisations de commande. Ces derniers modules ont été complétés, par exemple à travers d'autres travaux du CRAN mais aussi du LAIL et du LAAS, par des traitements de surveillance en ligne pour conférer un degré d'autonomie plus important à ces organisations de commande.

Dans le domaine des systèmes de production dite continue, (Galara, 1986) et (Belhumeur 1989) (Figure 6) ont proposé de façon similaire des Modules Fonctionnels d'Automatismes (M.F.A.) ou Modules d'Analyse de Comportement de Contrôle/Commande structurés en quatre parties. Ce principe a été complété en (Staroswiecki et Bayart, 1994) par le RTPOS (Real Time Process Operating System).

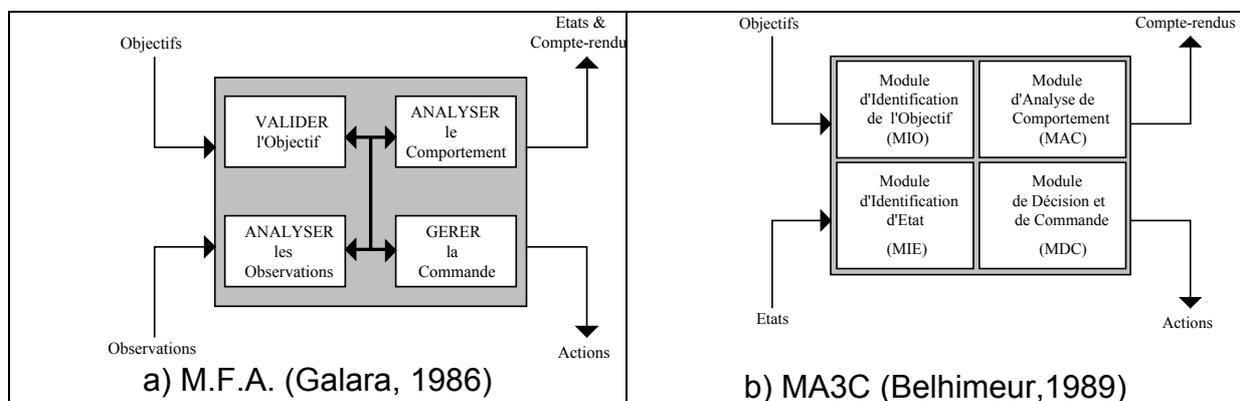


Figure 6: Modules Fonctionnels d'Automatismes

Par rapport à nos systèmes intégrés de contrôle, maintenance et gestion technique à base de composants interopérables, l'approche de modélisation de type cartésienne n'est pas exploitable car les interactions non hiérarchiques de sa structure hétérarchique ne peuvent pas être prises en compte. Cette règle a pu être démontrée lors nos premières expérimentations autour des concepts d'actionneurs et de capteurs dits intelligents qui ont mis en évidence des problèmes d'interopérabilité entre différentes fonctions distribuées dans des équipements hétérogènes.

2.2 Modélisation d'un système intégré

La réalisation d'un système intégré est basée sur l'analyse des flux (produits, informations, énergies...) de son organisation qui est considérée comme un ensemble d'objets complexes en interaction avec leur environnement. La construction intellectuelle qui met en œuvre cette analyse s'appuie sur le paradigme systémique (Lemoigne, 1984).

Le paradigme systémique positionne les modèles d'un système entre ses trois pôles:

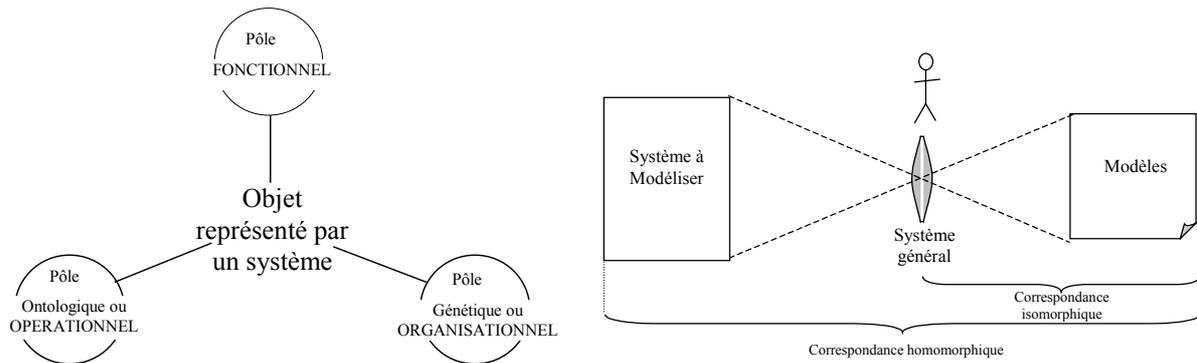
- ce que fait le système qui représente dans un contexte idéal indépendant de toutes contraintes d'implantation, une vue externe du système (**modèle des besoins fonctionnels** en termes de fonctions, d'informations et de comportements).
- ce qu'est le système qui représente le modèle technologique correspondant à une description interne en termes de fonctions, d'informations et de comportements d'une offre constructeur.
- comment il a été construit et ce qu'il devient qui représente l'ingénierie permettant de relier les points de vue précédents.

Cette approche repose donc en premier lieu sur un modèle des besoins fonctionnels qui représente le **fonctionnement** du **système**. Le terme "fonctionnement" doit être pris au sens systémique comme l'ensemble des **processus** qu'il réalise pour atteindre sa finalité, selon un procédé indépendant de la technologie. En effet, la modélisation processive (Dulmet et Lhote, 2001) a pour finalité de représenter de manière structurée et objective l'organisation a priori de processus de production de façon la plus indépendante possible des ressources opérantes. Les travaux de (Lamboley, 2001) s'appuient par exemple sur le raisonnement systémique pour proposer une application de la méthode B qui permet une approche formelle de modélisation des couplages entre les divers processus d'un système automatisé de production.

Relativement à ce paradigme systémique, la modélisation d'un système est ainsi considérée comme une correspondance isomorphique¹¹ (Figure 7) entre le modèle du système général et un modèle de système particulier et comme une correspondance homomorphique¹² entre le système à modéliser et un modèle partiel.

¹¹ Une correspondance isomorphique, est une correspondance bijective, telle qu'à tout élément de l'ensemble d'arrivée (le modèle) correspond un élément et un seul de l'ensemble de départ (le modèle général) (Lemoigne, 1984)

¹² Une correspondance homomorphique, est une correspondance surjective, telle qu'à tout élément de l'ensemble d'arrivée (le modèle) correspond un élément au moins de l'ensemble de départ (l'objet).



a) caractérisation d'un système par triangulation b) la systémographie (Lemoigne, 1984)

Figure 7: Cadre de modélisation systémique d'un système

Par exemple pour la modélisation de systèmes particuliers, SAGACE¹³ propose une approche d'analyse et de capitalisation de connaissance de ces systèmes qui est composée d'une phase de cadrage qui positionne le système par rapport à son environnement, d'une phase de décomposition qui substitue au système global différents sous-systèmes de complexité équivalente et d'une phase de projection de ces sous-systèmes sur une matrice de point de vue d'analyse.

Dans un contexte plus global de type C.I.M.E. (Computer Integrated Manufacturing Engineering), l'approche de modélisation systémique a été appliquée à des cadres de référence génériques pour la modélisation d'entreprise tels que CIMOSA (Open System Architecture for Computer Integrated Manufacturing) (Kosanke, 1995), G.I.M. (GRAI Integrated Methodology) (Doumeingts, 1984) ou G.E.R.A.M. (Generic Enterprise Reference Architecture and Methodology) (Williams et Li, 1997).

Ces cadres supportent des méthodes très précises dans leur pouvoir "syntaxique" de représentation nécessaires à l'intégration méthodologique des différents processus mais non suffisante face au besoin de modéliser des grands systèmes complexes pour assurer que le système modélisé correspond aux besoins de ses utilisateurs (y adjoindre des sémantiques métiers). *It implies that any manufacturing system, however stupid, inconsistent, erroneous or incomplete, is CIMOSA-compliant when it is described according to the rules* (Wortmann, 1997).

Pour rationaliser la démarche de modélisation de nos systèmes intégrés de contrôle, maintenance et gestion technique à base de composants interopérables, l'approche de modélisation de type systémique nous permet de prendre en compte les interactions hiérarchiques et non hiérarchiques de l'architecture de ces systèmes et de modéliser l'organisation de la mémorisation, de la communication, et du traitement de ce système sur chacun de ses pôles fonctionnel, opérationnel et organisationnel. Cette rationalisation nous a conduit pour déployer efficacement ce paradigme à:

- une **modélisation processive** du fonctionnement de nos systèmes à base d'une logique de flux,
- une **extension du cadre de modélisation d'entreprise GERAM** relativement au concept d'architecture de référence en y développant un axe d'intégration pour le contrôle, la maintenance et la gestion technique,

¹³ J.M. Penalva, "Sagace: la modélisation des systèmes dont la maîtrise est complexe", Rapport interne du Laboratoire d'Informatique Appliquée, Commissariat à l'Energie Atomique, Marcoule, 1994.

- **une extension du cadre de modélisation CIM-OSA** en y intégrant respectivement des principes comme le principe de finalité, de flux, de projection d'objectifs, ...

2.3 Modélisation d'un système distribué

La mise en œuvre d'un système de production distribuée, comme toute activité de conception coopérante, dépend de la capacité de compréhension de chacun des acteurs. Cette activité de conception s'appuie sur le paradigme d'ingénierie simultanée. L'ingénierie simultanée apporte une solution à la modélisation distribuée en proposant une approche méthodique pour une conception intégrée et simultanée du produit et des processus associés, incluant notamment les processus de conception, de fabrication et le soutien logistique¹⁴.

Sa mise en œuvre nécessite l'emploi d'un formalisme neutre pour représenter de manière non ambiguë les concepts partagés par les différents modèles. L'utilisation des ontologies (Gruber, 1993) permet ainsi de représenter avec une définition précise la signification des termes utilisés par le vocabulaire de modélisation et de représenter par un ensemble d'axiomes l'usage de ces termes en contraignant leur interprétation.

Dans le C.I.M.E., la mise en œuvre des ontologies définit comme support de la modélisation d'un système de production distribuée, non plus des modèles génériques d'entreprise, mais des modèles déductifs d'entreprise (Fox et al., 1996).

Par rapport à la modélisation de nos systèmes et plus précisément la modélisation des capteurs et actionneurs dits intelligents, nous avons montré l'applicabilité de ce paradigme de modélisation à travers la mise en œuvre d'une démarche, basée sur **un cycle de vie diachronique** (Vogel, 1988), de capitalisation de la connaissance détenue par les agents intervenant dans ces systèmes.

2.4 Modélisation d'un système "intelligent"

La mise en œuvre d'un système intelligent de production impose l'analyse des interactions entre chacun de ses "holons" (ou "agents") car le comportement global émerge de l'interaction dynamique entre les composants. Cette analyse s'appuie sur le paradigme d'I.A.D (Intelligence Artificielle Distribuée).

"Le paradigme d'I.A.D., trouve son fondement dans une critique radicale de l'I.A. classique, en considérant que les activités simples ou complexes, telles que la résolution de problèmes, l'établissement d'un diagnostic, la coordination d'action ou la construction de systèmes sont le fruit d'une interaction entre entités relativement autonomes et indépendantes, appelées agents (ou holons), qui travaillent au sein d'une communauté selon des modes parfois complexes de coopération, de conflit et de concurrence, pour survivre et se perpétuer" (Ferber, 1995).

Ce paradigme est basé sur la science des organisations artificielles, appelée **kénétique** par (Ferber, 1994) et qui se propose de:

- prendre en compte l'interaction entre agents comme fondement pour comprendre le fonctionnement et l'évolution des systèmes,

¹⁴ Actes de CALS EUROPE'92, Hermès, Paris, 1992

- définir les différentes formes de ces interactions (coopération, compétition, collaboration, encombrement) et de les relier à la problématique de l'auto organisation ou à celles de la performance ou de la survie du système,
- dégager les mécanismes donnant lieu à l'auto organisation (regroupement, spécialisation, répartition des tâches et des ressources, coordination d'actions, résolution de conflits),
- définir des modèles opérationnels de ces interactions.

L'idée fondamentale sous jacente à cette science est que toutes les contraintes de conception ne sont pas envisagées par les concepteurs mais qu'elles sont introduites **par la solution**. *The resulting systems exhibits an emergent behaviour that was never explicitly planned or conceived by these designers simply because its complexity exceeds their mental capabilities*¹⁵.

En ce sens, (Simon, 1990) a mis en évidence, par rapport aux sciences analytiques et d'observation, le besoin, dans les sciences de création, d'ingénierie, de synthèse, d'une formalisation de cette complexité (*scientific understanding of synthesis/design is lacking*).

Les principaux paradigmes de modélisation issues de l'IAD et qui peuvent contribuer à cette formalisation sont les BMS (Biologic Manufacturing Systems) (Ueada, 1994), les HMS (Holonc Manufacturing Systems) (Valckenaers, 2001), les MAS (Multi-Agent System) (Ferber, 1995), ... (Figure 8).

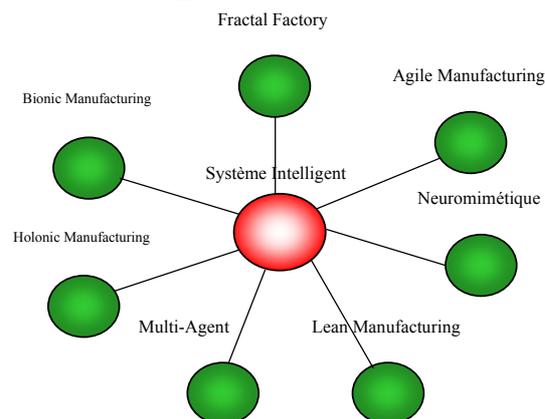


Figure 8: Principaux paradigmes de modélisation des systèmes intelligents de production

Par rapport aux applications déjà existantes (en ordonnancement, pilotage, commande de machine, conception et ingénierie simultanée, maintenance, ...) et permettant de répondre en partie à la problématique de la faisabilité et de l'efficacité de ces nouvelles organisations, les approches Holoniques et les Systèmes Multi-Agents sont les plus prometteuses⁹.

En regard du HMS, un système multi-agents (MAS) est un système artificiel composé d'une population **d'agents autonomes interactifs** qui coopèrent pour aboutir à un **but commun** (Ferber, 1995).

An agent is that it's a component of software and/or hardware that is capable of acting exactly in order to accomplish tasks on behalf of its user (Hyacinth, 1996).

¹⁵ Valckenaers, P., Van Brusel H., Hadeli, Bochmann O., Zamiferescu C. *On the design of complex emergent systems*. IFAC World Congress, July 2002, Barcelona, Spain

A MAS is seen as a system revealing a kind of synergy that would not be expected from the simple sum of its component agents. **This synergy is an emergent property of the system as whole** (Oliveira et al., 1999).

Dans le domaine des systèmes de production, ces deux approches bien que similaires relativement à la problématique, sont plutôt considérées comme différentes **mais** complémentaires par rapport à leur développement.

HMS deals with the overall structure of the manufacturing process and in particular with the integration of equipment, control, and workers, whereas MAS concentrate on the design of the information processing in a control system and its implementation. Given the strong similarities of concepts, it seems advantageous to combine both paradigms and to use MAS as an enabling technology for the information processing in HMS (Bussman, 1998) (Figure 9).

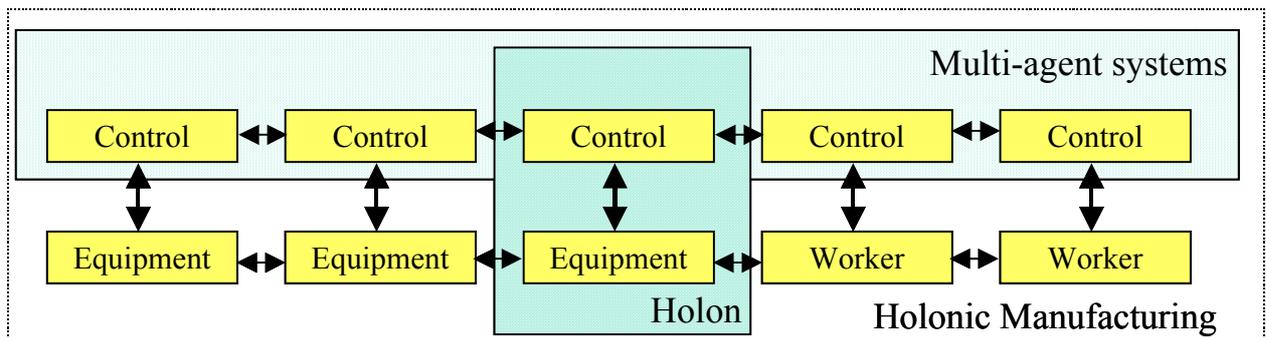


Figure 9: Views of HMS and MAS on manufacturing process (Bussman, 1998)

Cette complémentarité des approches MAS et HMS se positionne aussi comme une réponse aux deux premiers niveaux de la dimension de la complexité organisationnelle proposés par (Zaremba et Morel, 2003) (Figure 4) pour mettre en évidence différents types d'intelligence à conférer aux systèmes de production.

Par rapport à nos travaux sur la modélisation des systèmes intelligents de production et, plus précisément, d'un système intelligent de maintenance (processus autonomes et coopérants de surveillance, diagnostic et pronostic) où la contrainte temps réel de l'application est forte, nous avons cherché à éprouver et démontrer, par rapport aux approches conventionnelles, l'applicabilité et l'efficacité industrielle de ces nouveaux paradigmes et plus précisément des **systèmes multi-agents**.

2.5 Validation et vérification du modèle d'un système de production

Les contraintes de sûreté de fonctionnement auxquelles sont soumis les systèmes intégrés de contrôle, maintenance et gestion technique à base de composants interopérables nécessitent de minimiser leurs risques de dysfonctionnement. Ceci impose de maîtriser leurs approches de modélisation, c'est à dire de vérifier ou valider que les modèles résultants de l'application de ces approches soient conformes au système réel ou à l'expression de besoins utilisateurs sur ce système. Les approches de validation (Laprie et al., 1989) permettent de s'assurer de l'adéquation entre un modèle et ce qu'il est censé représenter. Une première approche de validation est obtenue par l'exécution de modèles de simulation qui nécessite de maîtriser l'explosion combinatoire des situations pour se focaliser sur



les seuls indicateurs permanents (exécution symbolique des modèles dans le cas de la simulation, ou réelle dans le cas du test).

Les approches de vérification (Laprie et al., 1989) appliquent un raisonnement syntaxique et/ou sémantique sur un système formel afin de s'assurer de sa correction vis à vis de propriétés génériques des modèles. Un deuxième niveau de vérification des modèles est ainsi obtenu en complément de l'approche par simulation, par la démonstration de certaines propriétés à partir de techniques formelles.

Pour valider les modèles de nos systèmes et plus précisément leurs automatismes distribués, nous avons cherché à éprouver, sur la base du mécanisme "hardware in the loop" (Iserman, 1999), le principe d'une **validation réalisée hors site** où le comportement des **parties opératives interopérables** est émulé.

2.6 Synthèse

Cette présentation des principales approches de modélisation montre que l'évolution des démarches de modélisation est quelque peu décalée par rapport à l'évolution des types d'architectures des systèmes de production.

La couverture complète d'un cycle de vie d'ingénierie pour la classe des systèmes qui nous intéresse ne semble opérationnelle que pour la modélisation des systèmes hiérarchisés de production basée sur le paradigme cartésien et la modélisation des systèmes intégrés de production basée sur le paradigme systémique. Par contre, la modélisation des systèmes "intelligents de production" basée sur le paradigme plus récent de l'intelligence artificielle distribuée n'a pas encore démontré toute son opérationnalité et son efficacité principalement en regard des paradigmes plus conventionnels qui régissent aujourd'hui la plupart des organisations industrielles.

Nos travaux de recherche appliquée se sont employés à faire évoluer les conclusions précédentes.

3. Méthodes de modélisation de systèmes de production

La méthode de modélisation d'un système de production qualifie l'approche de modélisation de façon intrinsèque. Elle explicite la démarche mise en œuvre par un agent modélisateur pour appliquer une approche de modélisation ou de validation/vérification à un système particulier en remarquant, qu'une même approche de modélisation peut être mise en œuvre par plusieurs méthodes.

Par conséquent, sur la base des définitions des quatre critères principaux de la métrique CMM interprétée (Tableau 3), notre objectif est de présenter les méthodes qui explicitent au mieux l'approche de modélisation d'un système intégré de contrôle, maintenance et gestion technique à base de composants interopérables. Ceci nous amène plus précisément à positionner sur les niveaux **reproductible** et **défini** (critère qualitatif) les méthodes relativement à notre contribution "technologique" (recherche de solutions par assemblage ou par particularisation) et à proposer quelques concepts de méthodes de niveau **observable** et **optimisée** (critère quantitatif) relativement à nos prospectives.

3.1 Méthode reproductible

A un niveau "reproductible", la méthode de modélisation explicite la modélisation d'un système particulier par l'identification d'analogies entre des modèles existants et le système à modéliser. Les premières représentations de modèles de systèmes de production sous forme de "boîtes noires" ont permis d'explicitier une représentation jusqu'alors implicite du fonctionnement de tout ou partie de systèmes de production.

Dans ce domaine, les travaux les plus représentatifs en lien avec nos systèmes sont ceux de **standardisation**, afin de rendre interopérables leurs différentes applications. En effet, garantir l'interopérabilité des équipements dans une application particulière consiste pour (Bayart, 1994) dans le contexte des SAPIID à pouvoir relier les besoins fonctionnels (approche descendante basée sur un savoir-faire d'automatisation qui consiste à **projeter** l'architecture fonctionnelle de l'application globale) aux offres technologiques (approche ascendante basée sur un savoir-faire mécanique qui repose sur la structuration des composants intelligents). Par conséquent, cette ingénierie est basée en particulier sur les paradigmes de distribution et de normalisation tant des langages de spécification des automatismes que des **interfaces fonctionnelles** des composants de terrain.

Dans cette voie, des projets comme INF (Interface Normalisée Fonctionnelle) prolongé par le projet Eureka INCA (Interface Normalisée pour Capteurs et Actionneurs) et MESR 2033 (MESR, 1995) ont apporté leur contribution à une approche de standardisation descendante.

A contrario, les constructeurs de réseau de terrain ont appliqué une démarche de standardisation ascendante basée sur la définition des normes d'accompagnement aux standards de communication (EN 50170). Certaines organisations (comité WorldFip, ISP, Fieldbus Foundation) ont ainsi cherché à développer des "guides" ou "profils" d'interopérabilité relativement à des champs d'applications données.

Dans un objectif de fusion de ces deux approches, ascendante et descendante, le projet Européen NOAH (Network Oriented Application and Harmonisation) a proposé une spécification des éléments nécessaires au développement d'applications distribuées, soit le masquage aux utilisateurs des différences entre les différents protocoles de communication et la description des fonctions à mettre en œuvre dans les équipements de terrain. A un niveau standardisation, ces travaux ont été repris par le groupe de travail IEC TC 65C WG6 pour la proposition de langages de description de blocs fonctions génériques IEC1499 et IEC1804 qui offrent une standardisation des blocs fonctions pour les systèmes continus.

Cette proposition exploite nos résultats de recherche technologique sur la définition de **F.C.S.** (Functional Companion Standard) et **C.C.S.** (Communication Companion Standard) auxquels se réfèrent aussi des initiatives "industrielles" actuelles et internationales comme MIMOSA (Machinery Information Management Open System Alliance)¹⁶.

Ces propositions de niveau terrain sont assimilables aux principes des API (Application Programming Interface) utilisant des standards de communication ou middleware (bus logiciel) pour construire, en ingénierie logicielle des architectures logicielles distribuées à base de technologies type CORBA, ...

¹⁶ www.mimosa.org

L'utilisation d'une méthode de modélisation reproductible sous la forme de blocs standardisés bien que permettant de reconduire une partie d'une approche de modélisation d'une application particulière à l'autre et de contribuer à l'interopérabilité des composants interopérables de nos systèmes, ne saurait être satisfaisante pour expliciter complètement l'approche de modélisation systémique nécessaire pour résoudre l'intégration.

En effet, le choix d'un cadre systémique de modélisation de systèmes amène à considérer la formalisation de l'approche de modélisation selon deux axes:

- d'une part, celle d'une méthode transformationnelle entre un modèle de référence et le modèle particulier du système à réaliser (méthodes définies et/ou observables),
- d'autre part, celle d'une méthode de résolution de l'interaction entre les trois modèles fonctionnels, organisationnels et opérationnels de ce système (méthode optimisée).

3.2 Méthode définie et observable

A un niveau "défini", la méthode de modélisation de nos systèmes, explicite l'approche de modélisation d'un système par la déduction de ses modèles particuliers à partir de modèles de référence. Par rapport à la définition générale d'une méthode "observable" caractérisée comme une méthode "définie" qui est contrôlée en utilisant des **techniques quantitatives et statistiques**, notre niveau "observable" explicite plus précisément l'approche de **validation/vérification** de modèles particuliers.

Les savoir-faire "stockés" dans les modèles particuliers de systèmes de production peuvent, dans certaines démarches, être capitalisés dans des modèles de référence¹⁷ qui expriment une connaissance partielle relative à un domaine particulier.

La transformation de modèles particuliers en un modèle de référence, basée sur un raisonnement inductif (Durand, 1979) conduit à définir une correspondance homomorphique entre les concepts des modèles particuliers et ceux des modèles de référence, et réciproquement la transformation d'un modèle de référence en un modèle particulier, basée sur un raisonnement déductif amène à définir une correspondance polymorphique¹⁸ entre les concepts du modèle de référence et ceux du modèle particulier.

Dans le cadre de modélisation CIMOSA, l'application de ces deux correspondances a conduit à la définition du principe de particularisation qui suggère de construire un modèle particulier de l'entreprise (modèle d'entreprise particulière) à partir de modèles partiels (applicables à des secteurs de l'entreprise).

Dans le domaine de nos systèmes, de nombreux travaux ont proposé des modèles de référence comme les travaux des groupes "Actionneurs" et "Capteurs" du CIAME (Comité Interprofessionnel pour l'Automatisation et la Mesure) qui ont prôné une première modélisation fonctionnelle de ces composants (Robert et al., 1993) (Staroswiecki et Bayart, 1994) ou (b) le groupe AMI (Actionnement et Mesure I...

¹⁷ *Un modèle de référence est un modèle qui peut être utilisé pour le développement de modèles particuliers. Dans ce cas, il est utilisé comme référence pour dériver des modèles particuliers à partir de modèles prédéfinis* (Vernadat, 1996)

¹⁸ Une correspondance polymorphique, est une correspondance injective, telle qu'à tout élément de l'ensemble de départ correspond un élément au moins de l'ensemble d'arrivée (pas réciproquement) (Lemoigne, 1984)

comme intelligent, intégré, interopérable) du CRAN qui a élaboré un modèle de référence partiel permettant d'exprimer le savoir-faire du CRAN dans le domaine de l'instrumentation intelligente (capteur ET actionneur).

Nos travaux de recherche technologique nous ont conduit aussi à développer un **modèle de référence d'expression des besoins utilisateurs** relativement à nos systèmes.

D'un point de vue méthode, si les modèles de référence sont exprimés dans un langage semi-formel ou formel (e.g. entité-association), la transformation polymorphique entre les modèles de référence et les modèles particuliers d'un système peut être formalisée et vérifiée. La méthode de modélisation peut alors être qualifiée d' "observable" comme celle mise en œuvre pour le modèle de référence BASE-PTA par (Couffin, 1997) qui formalise les règles de transformation de ce modèle de référence en modèles particuliers. Dans un même objectif, (Féliot, 1997) propose de formaliser les règles d'assemblage des sous-systèmes d'un système plus général en se basant sur les concepts de la systémique. Cette formalisation est réalisée en complétant la matrice SAGACE par un axe des niveaux de formalisation des langages de modélisation qui décrit chaque sous-système par un modèle de représentation (ou cognitif), un modèle qualitatif et un modèle quantitatif.

Relativement à ce besoin d'observabilité de la méthode de modélisation, des travaux de notre recherche appliquée ont eu pour objet de proposer, pour nos systèmes, des **modèles de référence exprimés de manière formelle** pour expliciter et **pérenniser** leur approche de modélisation.

Pour satisfaire pleinement aux critères quantitatifs de la méthode "observable", ces travaux ont besoin d'être complétés par la définition de métriques d'évaluation des variables représentatives d'une observabilité attendue. En ce sens (Christie, 1999) introduit la notion de limites des performances quantitatives (*At level 4, the aim is to operate processes within quantitative performance limits – primarily limits on dependant variables such as cost, schedule and quality*) en proposant des méthodes de simulation pour fixer les limites des performances attendues de certaines variables. D'un point de vue plus formel, les travaux de (Lamboley, 2001), basés sur l'utilisation de la méthode B, sont une première contribution à la **vérification** de ces limites, c'est à dire, de prouver dans un intervalle donné le respect de certaines propriétés critiques.

3.3 Méthode optimisée

Par rapport à la définition générale d'une méthode "optimisée" caractérisée comme une méthode "observable" s'adaptant continuellement pour satisfaire les nouveaux et futurs besoins (*An optimising process focuses on continually improving the process performance through both incremental and innovative technological improvements*), notre niveau "optimisé" explicite plus précisément la **rétroaction** de la validation et/ou de la vérification de modèles de systèmes particuliers sur l'approche de modélisation de ces systèmes. Les méthodes de modélisation optimisées sont ainsi capables de s'améliorer continuellement par la prise en compte des **nouvelles propriétés émergentes** de l'interaction entre un modèle particulier résultant de la mise en œuvre d'une méthode de modélisation définie et d'un modèle validé ou vérifié résultant de la mise en œuvre d'une méthode de modélisation observable.

Dans le cadre systémique, l'application de ce concept d'émergence (Bonabeau et al., 1995) amène à résoudre l'interaction entre les modèles fonctionnel et opérationnel d'un système de production par l'émergence du modèle organisationnel du système.

Sur la base des travaux de (Mayer, 1995), nous avons appliqué ce concept, c'est à dire une méthode **de modélisation par émergence**, pour à partir du raffinement d'une interaction initiale agent – flux physique, faire émerger les différents sous-systèmes d'un système particulier: notre plate forme d'expérimentation IMS (voir chapitre "ressource expérimentale") en préservant la propriété d'interopérabilité de ces sous-systèmes.

Le principe d'émergence, appliqué d'un point de vue plus général dans une perspective d'organisation des systèmes complexes (Valckenaers et al., 2002)¹⁵ (contexte de l'IAD) où le comportement global émerge de l'interaction dynamique de chacun des composants, est le concept clé pour satisfaire au critère "optimisé" dans sa globalité. En effet ce concept confère au système un degré d'adaptabilité maximum permettant de faire face rapidement aux évolutions demandées tout en conservant, au minimum, les performances initiales (*a major focus at Level 5 is the ability to rapidly respond to new technology*) (Christie, 1999).

Notre contribution au développement d'un système intelligent de maintenance, a ainsi eu pour objet, sur la base du paradigme de modélisation MAS, une première expérimentation d'une méthode "optimisée" pour la mise en œuvre d'une architecture de maintenance collaborative émergeant de l'interaction des processus de surveillance, diagnostic et pronostic et s'adaptant facilement à tout changement de la structure du système physique (meta-morphic structure) (Maturana et Norrie, 1996).

3.4 Synthèse

Cette présentation des principales transformations mises en œuvre dans une approche de modélisation principalement systémique montre, que si les mécanismes de transformation homomorphique ou polymorphique entre modèles paraissent être complètement formalisés, le concept d'émergence ne l'est encore pas suffisamment pour résoudre les interactions entre différents modèles d'un système particulier mais aussi dans un cadre plutôt d'organisation de systèmes complexes (IAD), les interactions entre entités d'un même modèle.



II. Recherches Technologiques en partenariat avec le milieu industriel et scientifique

Relativement au cadre de modélisation précédent, nous présentons dans cette deuxième partie nos contributions en termes de recherches "technologiques" en automatisation des systèmes intégrés de contrôle, maintenance et gestion technique à base de composants interopérables, en regard des problématiques émergent de nos collaborations industrielles et portant principalement sur les architectures et méthodes de modélisation qualitatives pour conférer au fonctionnement de ces systèmes ses caractéristiques de réactivité et de globalité. Une recherche technologique est une recherche où *il s'agit d'élaborer des modèles de connaissance représentant la réalité complexe de ces systèmes, d'établir des méthodes et des algorithmes apportant des solutions particulières de R&D en partenariat fort avec le milieu industriel, puis d'évaluer leur pertinence en les appliquant sur des cas d'études industriels, des plates formes d'expérimentation, voire directement en entreprise*¹⁹. Ces coopérations ont permis de constituer avec les industriels concernés un véritable programme de recherche sur une dizaine d'années concrétisé par de nombreuses publications communes et des actions de diffusion, de valorisation et de transfert des résultats.

Ce programme de R&D a été conforté scientifiquement par un ensemble de **coopérations académiques** à travers des actions internationales telles que des participations à des réseaux d'excellence ou l'accueil de chercheurs étrangers et des actions nationales qui nous ont permis, par une participation à des groupes de travail, de tisser de nombreux liens avec d'autres laboratoires français.

1. Coopérations industrielles

Les données factuelles concernant les coopérations industrielles sont données dans le chapitre "Valorisation".

1.1 Coopérations passées (1990-2001)

Prototypage du concept de capteurs et d'actionneurs intelligents: Projet DIAS et contrats EDF (période 1990-1992)

Participants: G. Morel, B. Lung, J.F. Pétin.

Pour répondre au manque d'une représentation informationnelle du processus véritablement fiable et synthétique et, par voie de conséquence, à la non-intégration, au niveau terrain, des processus d'automatisation, le projet ESPRIT II- DIAS²⁰ n°2172 [PE1][CI1] intégrant un nombre important d'utilisateurs du domaine de la production d'énergie (EDF, ENEL, EDP, ...), a eu pour objet de proposer le concept CMMS [CI6] (Figure 10) comme un concept d'intégration des fonctions de contrôle

¹⁹ Chapitre 4 "Productique et Automatisation des Procédés Discrets" – rapport du CRAN – période 1999 – 2001.

²⁰ Distributed Intelligent Actuators and Sensors

(sens conduite), maintenance et gestion technique en dotant les composants, au niveau terrain, de nouvelles fonctions de traitement de l'information.

Le concept CMMS peut être ainsi vu comme un archétype [CI9] du Système Général (Lemoigne, 1984) semi-formalisé par (Mayer, 1995) dans le domaine manufacturier dans le sens où le pôle Conduite participe à la transformation de la matière première (opérateur de Forme), où le pôle de Maintenance assure la disponibilité dans le temps de l'outil de production (opérateur de Temps) et où la Gestion des données techniques gère les relations informationnelles entre les deux précédentes fonctions (opérateur d'Espace).

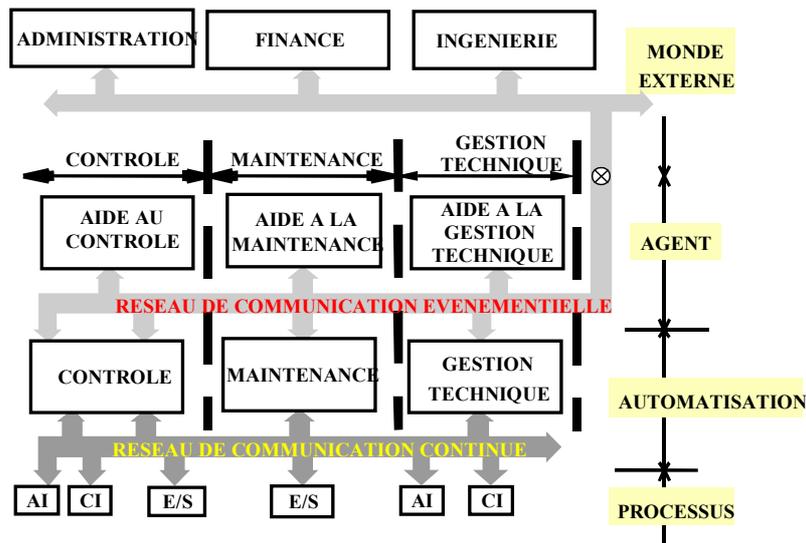


Figure 10: Architecture fonctionnelle CMMS

Ce projet, auquel nous avons participé à travers une implication active au sein du groupe de travail "actionneur intelligent" de l'EDF/DER de Chatou (contrats entre 90 et 92), a par conséquent cherché, compte tenu de la difficulté à la fois scientifique et industriel du déploiement d'un tel système, à démontrer la faisabilité du concept en termes de potentialité technique, méthodologique et commerciale. L'objectif a été ainsi de promouvoir par des expérimentations sur sites industriels, des principes fonctionnels clés qui sont à la base de la réalisation d'un système CMMS opérationnel. Le projet a développé et testé quatre éléments majeurs:

- le principe d'une **nouvelle instrumentation "intelligente"** (new Intelligent Actuators and Sensors) pour améliorer la qualité, la cohérence et l'accessibilité en temps réel des données et informations de terrain.
- le principe, par rapport à ces nouveaux instruments, d'une communication par **réseau de terrain** et plus spécifiquement par réseau de terrain FIP basé sur le modèle Producteur-Distributeur-Consommateur mais aussi, dans le cas EDF, par réseau de terrain propriétaire ABB de type P13/42 afin de résoudre premièrement **l'interopérabilité de niveau A**.
- un système de maintenance pour l'analyse et le compte rendu des performances de ces composants intelligents afin de remplacer à terme une maintenance préventive systématique bien trop chère par une maintenance conditionnelle plus pertinente pour la prise de décision en temps-réel.
- un système de conduite doté d'une nouvelle interface homme-machine (nouvelles fonctions de supervision, de commande, de configuration) pour ces composants.

Notre participation à ces développements dans le cadre du partenariat avec EDF, a eu pour but de proposer une méthodologie (rationalisée dans nos travaux de recherche appliquée) de définition et de validation des nouveaux composants dits intelligents à partir des besoins utilisateurs [ON1]. Intentionnellement limitée dans un premier temps aux actionneurs et plus précisément à la classe d'application vannes, cette méthodologie a consisté à définir un modèle des besoins utilisateurs [RAP4], représentant par rapport aux activités du cycle de vie de l'actionneur générique [RAP3], (a) les besoins en termes de requêtes et comptes rendus attendus par chacun des agents (utilisateurs et machines) en interaction avec le composant vanne, (b) les actions et observations en lien avec la partie opérative de la vanne, et (c) les fonctions à implanter pour répondre aux besoins des agents à partir des observations.

La pertinence de ce modèle de connaissance a été testée sur différents types de vannes [RAP5, RAP6] avec des instrumentations différentes, en développant la partie logicielle (sur mini-automate ABB avec carte de communication P13/42) par particularisation du modèle à chacun des cas et en couplant la partie logicielle à la partie mécanique (robinet, servomoteur, interface de puissance, instrumentation) afin d'obtenir un prototype d'actionneur dit intelligent. Dans le contexte EDF et pour répondre à l'objectif de faisabilité et de performances attendues [RAP7], chacune des architectures composée des prototypes, de la communication, des postes de maintenance et de conduite (développés par Sema-Group) a été testée et validée physiquement d'une part en laboratoire à Chatou puis sur le site de la centrale thermique du Havre.

Ces expérimentations ont mis en évidence pour les nouveaux prototypes de composants de terrain, une réelle amélioration de leur fonctionnement intrinsèque (disponibilité, maintenabilité) mais avec une réelle difficulté dans leur intégration au sein d'une application distribuée. En effet, les prototypes hétérogènes DIAS développés ont pu communiquer sur le réseau de terrain de façon cohérente (classe A) mais n'ont pas atteint de façon satisfaisante le niveau B d'interopérabilité, principalement dû aux incomplétudes du modèle des besoins utilisateurs. Cette conclusion a incité le consortium du projet à prolonger ces travaux sur une problématique plus orientée fonction que technologie.

Prototypage d'une normalisation de la fonction d'Actionnement et de Mesure Intelligents: Projets PRIAM, EIAMUG et contrats EDF (période 1993-1995).

Participants: G. Morel, P. Lhoste, B. Lung, J.F. Pétin, E. Neunreuther.

Sur la base du constat de la non-interopérabilité de classe B des composants développés dans DIAS, les projets ESPRIT III-PRIAM²¹ n°6188 [PE3] et EIAMUG²² n°8244 [PE4] [INV2, CI10] (1993-1997), ont prôné pour la modélisation des systèmes intégrés de contrôle, maintenance et gestion technique à base de composants interopérables, une deuxième rupture méthodologique se traduisant par l'évolution du concept technologique d'Actionneurs et de Capteurs dit Intelligents (dépendant de la technologie) vers celui de fonction **d'Actionnement et de Mesure Intelligents** (indépendant de l'implantation): **concept AMI ou IAM** (Intelligent Actuation and Measurement) [CI4, CI5]. La fonction AMI peut être ainsi définie comme l'interface entre le processus physique et les systèmes automatisés de contrôle, maintenance

²¹ Prenormative Requirements for Intelligent Actuation and Measurement

²² European Intelligent Actuation and Measurement User Group

et gestion technique (concept majeur de CMMS/IAMS) (Figure 11). Elle est matérialisée comme l'ensemble des fonctions supportant les actions et les observations (canaux d'Actionnement et de Mesure) nécessaires à la réalisation d'un objectif fixé par un agent (ou acteur) qu'il soit opérateur humain ou matériel en interaction avec le système AMI.

En conséquence, une fonction AMI peut être distribuée en:

- fonctions **internes**, directement supportées par les équipements de terrain pour aboutir aux composants dits intelligents (et standardisés) [C17],
- fonctions **externes**, non supportées par les équipements de terrain et qui devront donc être distribuées dans les systèmes d'automatisation conventionnels de contrôle, de maintenance ou de gestion technique.

Relativement à cette distribution de la fonction AMI, les objectifs plus précis du projet étaient:

- de définir un modèle des besoins fonctionnels des utilisateurs et des offreurs qui exprime en termes de fonctions, d'informations et de comportements, ce que doit faire un système AMI. Le résultat attendu est de promouvoir une distribution fonctionnelle de l'intelligence en adéquation avec les possibilités du marché.
- de définir à partir de ce modèle, un ensemble **pré-normatif** de fonctions préfigurant les futurs composants intelligents de terrain,
- de démontrer que ces fonctions peuvent être développées et validées à travers un outil logiciel,
- de tester les fonctions et les composants en laboratoire,
- d'évaluer le bénéfice économique de l'utilisation de ces nouveaux composants,
- et de préparer une proposition pré-normative des fonctions AMI utilisable par les comités de standardisation.

Cette proposition de pré-standardisation a pour objet de permettre un interfaçage entre le modèle fonctionnel des utilisateurs et le modèle technologique des offreurs pour rendre le système AMI opérationnel (le système opérationnel résulte ainsi de la convergence entre le modèle des besoins et le modèle technologique). En conséquence, la proposition initiée dans PRIAM à partir des besoins des utilisateurs du consortium (domaine de la production d'énergie électrique) porte sur:

- des **interfaces fonctionnelles standards** (ou FCS: Functional Companion Standard) de composants AMI indépendantes du support de communication, en vue d'assurer leur interopérabilité de services. Ces interfaces sont rattachées aux composants et traitent des informations produites ou consommées par le composant mais aussi les fonctions et comportements reliés à ces informations. Elles sont définies par un triplet {Fonction, Objets produits ou consommés par la fonction, Flots de Données reliant les objets aux fonctions}. Au passage en implantation, les FCS sont ensuite complétées par une vectorisation des informations en vue d'optimiser la charge du réseau et par un mécanisme réalisant leur adaptation avec un réseau de terrain particulier. Ces deux mécanismes liés à la communication sont mis en œuvre sur la base du CCS.
- des **interfaces de communication standards** (ou CCS: Communication Companion Standard) qui assurent l'adaptation des interfaces fonctionnelles à un réseau particulier ...

... étendue dans EIAMUG à de nombreux autres domaines (chimie, pétrochimie) et en lien avec les comités de normalisation.

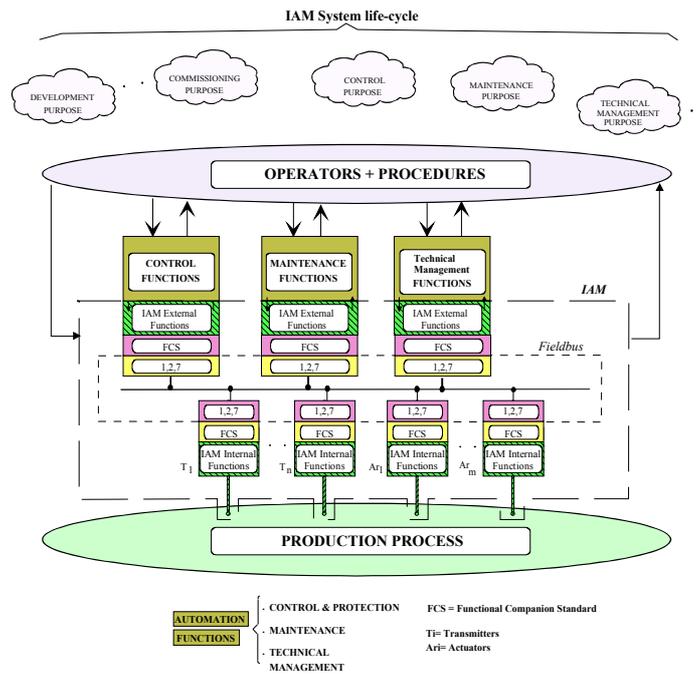


Figure 11: Décomposition de la fonction AMI dans un contexte C.M.M.S.

Pour parvenir à cette proposition pré-normative viable des FCS, notre travail dans ce projet PRIAM (poursuivi dans EIAMUG) et approfondi avec EDF (contrats entre 1993 et 1995), a consisté à participer à l'élaboration d'un nouveau modèle de référence AMI intégrant les besoins fonctionnels des utilisateurs, les contraintes technologiques et économiques des vendeurs ainsi que les mécanismes d'ingénierie permettant de relier les points de vue des utilisateurs et des offreurs en se **focalisant prioritairement selon le point de vue du contrôle**.

Au niveau fonctionnel, pour chaque agent les besoins sont définis sous la forme de listes de requêtes et de comptes rendus représentant les flux informationnels transformés par les fonctions AMI. Ces fonctions ainsi que les besoins informationnels qu'elles satisfont ont été regroupés en **sept** classes couvrant l'ensemble du fonctionnement d'un système AMI dans un contexte d'intégration des fonctions de contrôle, maintenance et gestion technique. Ces sept classes forment un vecteur, une **focale** pour l'expression et la structuration des besoins: Fonction de Documentation, de Configuration, de Paramétrisation, de Test, d'Etats, de Status et d'Historiques et, enfin, de Modes.

A partir de cette expression, nous avons exploré des mécanismes fondés sur les paradigmes de normalisation et de distribution pour permettre l'élaboration d'un modèle AMI opérationnel distribué défini comme l'interface entre le modèle fonctionnel et le modèle technologique (représentant l'implantation des spécifications dans les équipements des offreurs). Ainsi, nous avons expérimenté une approche de définition de l'interface sur le principe d'une intégration faible à base de fichier neutre [RAP8] s'appuyant sur une bibliothèque de blocs fonctions décrits dans le formalisme asynchrone ST (structured text) de la norme CEI 1131-3 [RAP9, RAP10, RAP11].

De plus, pour aider l'ingénieur et assurer la cohérence à la fois de la description fonctionnelle, technologique et de leurs projections, nous avons informatisé la démarche de modélisation AMI afin de fédérer et d'organiser l'ensemble des contributions correspondant à des savoir-faire "métiers" particuliers. En ce sens, l'outil PRIAM a été développé [RPE1, RPE2] puis, dans le cadre EIAMUG, un

didacticiel [RPE4] centré autour de l'outil a été réalisé pour assurer la dissémination scientifique et pédagogique du processus de modélisation des systèmes intégrés de contrôle, maintenance et gestion technique à base de composants interopérables. Cet outil PRIAM permet la représentation de l'ensemble des besoins utilisateurs (requêtes, compte rendu) et des blocs fonctionnels transformationnels de nos systèmes et la répartition de ces blocs et de ces besoins sur une architecture organisationnelle (systèmes internes et externes) pouvant intégrer des modèles d'éléments de partie opérative (lien avec le processus physique, le produit). L'outil ainsi que la démarche pré-normative PRIAM ont été validés sur différents cas d'applications dont la plate forme IMS du CRAN mais aussi industriellement pour le développement de produits de types "actionneurs intelligents" pré-standardisés [RPE3] comme ceux proposés depuis 5 ans, sur le marché par la société Ets Bernard.

Modélisation du processus de Maintenance Prévisionnelle: Projets REMAFEX et PRIMA (période 1996-1999).

Participants: G. Morel, B. lung, J.B. Léger.

Pour compléter l'expression du besoin en automatisation CMMS de niveau terrain initialement et majoritairement développé sur l'axe contrôle, le projet ESPRIT IV - REMAFEX²³ n° 20874 [PE5] [CI15] a eu pour objet de proposer une première modélisation du processus de maintenance et plus précisément du processus de maintenance prévisionnelle comme un processus d'Entreprise. En effet ce projet s'est référé initialement au constat industriel d'entreprises telles que les groupes EDF, ENEL et EDP de production d'électricité considérant la fonction Maintenance comme plutôt découpée en plusieurs sous fonctions (gestion des pièces de rechange, exécution des opérations, surveillance,...) supportées par des systèmes opérationnels séparés, sans une réelle organisation et cohérence dans la mise en œuvre et l'optimisation des stratégies en accord avec la stratégie d'Entreprise.

Face à ce constat, le challenge relevé par le projet a été d'exploiter les Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication pour développer une solution de maintenance (commercialisée par SchlumbergerSema sous le nom de TEMIIS) sous la forme d'un **système innovant de maintenance distribué**. Ce système par ses caractéristiques structurelles complémentaires de "distribution", et de "globalité" est un support concret à la réduction des coûts de maintenance tout en améliorant l'efficacité des opérations par une aide à la décision plus efficace sur la base d'une **disponibilité** d'une bonne décision, au bon endroit et au bon moment.

Ce système gère ainsi le processus de maintenance globalement vis à vis des opérateurs de différents niveaux (terrain, expert, manager) en administrant chacune des activités de maintenance (niveau plutôt gestion) et en contrôlant les défaillances mais aussi les dégradations (niveau exécution). La mise à disposition au niveau exécution d'informations pertinentes et efficaces de la défaillance mais surtout de la dégradation est une condition nécessaire pour évoluer d'une maintenance préventive systématique bien trop chère vers des maintenances de type "just in time" comme la maintenance conditionnelle voire prévisionnelle (prise de décision en fonction de l'événementiel réel).

²³ REmote Maintenance for Facility EXploitation

Dans cette voie, le projet a développé plusieurs actions majeures auxquelles nous avons pris une part active:

- la définition d'une approche système du processus de maintenance [RI3, CI12, RPE5, RPE6] au sein de l'entreprise et dont la finalité est de maintenir ou de rétablir, à travers le temps, les ressources de production.

Cette approche est le support de:

- la définition d'une stratégie de maintenance en cohérence avec le niveau management de l'organisation précisant l'objectif du processus de maintenance sur les points de vue technique et économique,
- l'expression et la modélisation générique des besoins utilisateurs en maintenance (**focale de maintenance** composée de 11 sous processus) [RI3] tout au long du cycle de vie pour caractériser à la fois les informations, les fonctions et les comportements génériques du processus de maintenance, intégré avec les autres processus du CMMS (définition de "Maintenance Information Reference Models"). L'expression des besoins est basée à la fois sur une connaissance a posteriori du système (retour d'expérience, état de l'art) et a priori (dualité fonctionnement – dysfonctionnement, AMDEC, HAZOP), la convergence entre les 2 formes d'expression se réalisant dans la focale.
- la définition de mécanismes de projection de ces besoins sur une architecture opérationnelle.
- le développement d'un système opérationnel distribué de maintenance (de type plug&play) appelé plate forme technique **REMAFEX** (puis **TEMIIS**) [RPE8], intégrée au niveau terrain à une architecture CMMS et ouverte vers le niveau Business. La plate forme est un réceptacle modulable et adaptable pour satisfaire l'ensemble des besoins utilisateurs en connexion avec les ressources passives et actives du processus physique.
- la validation de l'approche système et de la plate forme configurée par les résultats de cette approche sur deux sites industriels de centrales hydroélectriques (sites de France-Covas au Portugal et de Salto de Soutelo en Espagne), et leur exploitation [RPE9] à d'autres secteurs d'activités industriels comme les aéroports [RPE7].

Sur la base de cette modélisation générique des besoins en maintenance, une collaboration avec le projet ESPRIT IV – PRIMA²⁴ n°20775 [PE6] a eu pour objet, en cohérence avec les travaux de REMAFEX, de proposer une première formalisation d'un modèle générique du processus de maintenance prévisionnelle d'un composant élémentaire [RPE10], intégrant les sous processus, d'observation, d'analyse, de diagnostic et de décision de dégradation au sein d'une architecture CMMS. Ce modèle a été aussi validé sur des composants des centrales hydroélectriques comme les turbines [RPE11].

²⁴ PProcess Industries Manufacturing Advantage

Dissémination et promotion à l'international du concept de CMMS-IAMS: Projets EIAM-IPE et DEFITRA (période 1997-1999).

Participants: G. Morel, P. Lhoste, B. lung, F. Mayer, E. Neunreuther, J.B. Léger, J.F. Pétin, D. Morel

L'ensemble des résultats acquis à la fin des projets DIAS, PRIAM et REMAFEX ainsi que leurs rationalisations à travers les thèses [TH1, TH2, TH3], ont incité les différents partenaires et le CRAN à proposer à la commission européenne des actions de promotion et d'exploitation des concepts inhérents aux systèmes intégrés de contrôle, de maintenance et de gestion technique à base de composants interopérables:

- vers d'autres pays Européens et le monde de l'éducation à travers le projet DEFITRA²⁵ [PE9] du programme Leonardo da Vinci relatif au développement d'une formation complète sur la problématique de communication par réseaux de terrain reliant des capteurs et actionneurs intelligents,
- vers la Chine et l'Université HUST de Wuhan (Huazhong University of Sciences and Technology) à travers le réseau INCO-DC EIAM-IPE²⁶ n°96-1744 [PE8] relatif entre autres, sur ces systèmes, au déploiement de séminaires en Chine [RPE12, RPE14], de formations en Europe [RPE13] et d'une plate forme CMMS/IAMS d'expérimentation à HUST. Cette action de promotion s'est référée, coté Chinois, aux problématiques développées dans le projet 863/CIMS où CIMS est décliné en "**Contemporary** Integrated Manufacturing System" (Wu, 1997).

Cette action vers la Chine a été inférée principalement par les besoins techniques et socio-économiques exprimés par les différents acteurs Chinois du domaine de la production et de la distribution d'énergie en collaboration avec HUST comme le CCPG (centre de dispatching du Central China Power Group) ou le barrage des trois gorges (nécessité d'une nouvelle forme d'Automatisation).

La collaboration initiée avec la Chine dans ce projet est prolongée actuellement dans le cadre du réseau IST-2000-28739 CENNET et a permis au Pr. G. Morel et à nous même de favoriser un ensemble d'échanges doctoraux [TH4] (thèse en co-tutelle), post-doctoraux [POD1] [POD2] et d'accueil (5) de chercheurs Chinois (e.g. application des travaux en Maintenance Prévisionnelle au cas du "governing system" [RN4]).

Transfert technologique de la méthodologie de modélisation du processus de maintenance prévisionnelle: Suite CASIP (période 1999-2002).

Participants: G. Morel, B. lung, J.B. Léger

Les résultats obtenus dans REMAFEX et rationalisés dans la thèse de J.B. Léger [TH3] ont incité ce doctorant (avec le soutien du laboratoire) à transférer ses compétences scientifiques dans le milieu industriel, par la création d'une start-up PREDICT²⁷ dont le premier développement majeur est une suite logicielle CASIP (Computer Aided Safety and Industrial Productivity) dédiée à la Sûreté et la Maintenance des systèmes. Dans le cadre de cette création, Jean Baptiste Léger a

²⁵ DEvelopment of Fieldbus TRaining

²⁶ European Intelligent Actuation en Measurement: International Promotion and Exploitation

²⁷ <http://www.predict.fr>

été lauréat du concours régional Entreprendre'98, puis lauréat de la meilleure concrétisation du concours régional Entreprendre'99 et ensuite lauréat du concours national d'aide à la création d'entreprises de technologies innovantes, catégorie "projets en émergence" en 1999 et 2000. A ce jour, cette suite CASIP, installée sur notre plate forme IMS (voir chapitre "ressource expérimentale") est une solution intégrée composée actuellement de 5 modules supportant à la fois l'analyse du système à travers la modélisation de ses dysfonctionnements et l'exploitation des données, issues de cette modélisation, au sein d'un même système d'informations pour le suivi et la prise de décision, in situ, des risques encourus.

Autour de son système d'informations unique, CASIP est ainsi ouvert pour compléter la fonctionnalité dédiée à l'ERP afin de permettre une gestion des situations à risques, et la fonctionnalité dédiée au MES afin de permettre une réactivité maximale quand le système est dégradé voire défaillant. De plus, par son architecture client/serveur, CASIP est facilement intégrable techniquement à des bases de données de système de GMAO ou à des plates formes de Télé-service. INDUS International²⁸ a ainsi choisi d'intégrer CASIP dans son progiciel EMPACix.

La collaboration actuelle entre PREDICT et le CRAN a pour objectif de proposer des évolutions futures à CASIP, notamment pour le couplage d'approches probabilistes et événementielles en pronostic de dysfonctionnement (voir chapitre IV) ainsi que de contribuer à sa diffusion tant en R&D (projet Robcrane) qu'en enseignement. CASIP fait aussi l'objet avec d'autres laboratoires d'une proposition de plate-forme d'expérimentation multi-laboratoires. Cette collaboration a donné lieu à une revue [RI9], deux communications [INV5, CI21] et un rapport de recherche [RAP12].

1.2 Coopérations en cours (2002-2003)

Modélisation d'un système de Maintenance Intelligente pour le levage: Projet ROBCRANE (période 2002-2003)

Participants: G. Morel, D. Sauter, B. lung, H. Noura

En tant que sous-traitant de la société PREDICT et faisant suite aux travaux menés avec cette société sur sa suite logicielle CASIP, le CRAN a rallié le projet EUREKA ROBCRANE n°1968 [PE10] en 2001. L'objectif de ce projet est de développer un système intelligent et intégré de contrôle et de maintenance pour des applications en levage lourd dans le domaine de la métallurgie. Les partenaires Français (PREDICT, EUROTEDIA, CRAN) ont à développer le système de maintenance intelligente nommé MILOS²⁹ intégré au contrôle afin d'augmenter la disponibilité de ces équipements en complétant les approches historiques et statistiques conventionnelles par une approche plus dynamique. Les tâches confiées au CRAN portent principalement sur la modélisation d'un système de levage en général puis sur sa particularisation aux systèmes de levage de type portique, sur l'identification des théories applicables pour la maintenance prévisionnelle de ce système, sur la définition et la conception générale de processus de surveillance, diagnostic et pronostic associés à chaque fonctionnalité et composant du levage, et enfin sur une caractérisation matérielle (type de capteurs, de réseaux, ...) et logicielle (automates, base de données, ...) de MILOS nécessaire pour supporter et exécuter ces processus relativement au système de levage et à leur intégration avec le contrôle.

²⁸ <http://www.indus.fr>

²⁹ Maintenance Intelligente du Levage pour son Optimisation et sa Sûreté

En effet, les partenaires Français ont à valider et à évaluer les performances de MILOS (donc des processus) sur le site du port du Havre et plus précisément les nouveaux portiques de déchargement des containers. Ce projet est pour nous l'occasion à travers une implication des chercheurs du CRAN provenant de deux thèmes différents (PAPD; Surveillance et Détection de Défauts) d'explorer une voie complémentaire de travail reposant d'une part sur une approche plutôt analytique bien adaptée pour la modélisation des processus au niveau composant élémentaire et une approche plutôt orientée connaissance bien adaptée pour la modélisation de la complexité des interactions entre les fonctions, les flux, et l'environnement à des niveaux d'abstraction plus conceptuels.

2. Coopérations scientifiques

2.1 Coopérations passées (1992-2001)

Extension du concept de CMMS-IAMS aux nouveaux paradigmes d'organisation industrielle: Working Group IMS-WG (période 1997-2000).

Participants: G. Morel, B. lung, J.F. Pétin

En complément, au niveau Européen, du programme IMS conduit principalement par un ensemble de projets industriels de R&D, certains acteurs comme l'Université de Leuven (Pr. Van Brussel, Dr Valckenaers), du réseau d'excellence ICIMS-NOE³⁰ et engagés dans ce programme, ont proposé une action de recherche à long terme intitulée IMS-WG³¹ n° 21955 [PE7] pour stimuler le développement dans le domaine IMS d'activités de recherche indépendantes de toute contrainte d'intérêt propre. Ces activités effectives à travers l'organisation de workshops, la collaboration entre partenaires, l'échanges de résultats, la mise en commun et l'harmonisation de travaux, ... ont à répondre ou du moins à contribuer aux challenges techniques et socio-économiques posés par la problématique de globalisation dans l'industrie manufacturière.

Dans ce contexte, notre implication dans ce groupe européen de recherche à long terme, nous a permis d'initier des collaborations et des travaux relatifs à la formalisation de l'intégration d'une forme "d'intelligence technique" dans les processus de production afin de conforter scientifiquement nos résultats de R&D. En effet au sein du cluster 3 intitulé "modelling and control of autonomous and co-operative system under dynamically changing conditions", nous avons développé une recherche collaborative avec Patras (Laboratory for Automation and Robotics, Pr. Groumpos, Greece), Lyngby (Technical University of Denmark, Dr Langer, Denmark) et Aachen (Laboratory for Machine Tools and Production Engineering, Dr Weck, Germany) afin d'identifier un ensemble de problématiques scientifiques à approfondir sur la base des travaux de chacun pour contribuer à la formalisation, au niveau terrain, d'un système intelligent de production. Cette contribution est exposée en [RI4, CI16].

³⁰ Esprit Network of Excellence on Intelligent Control and Integrated Manufacturing Systems

³¹ Working Group on Intelligent Manufacturing Systems

En complément de cette coopération internationale bien formalisée, nous avons développé d'autres coopérations scientifiques sous la forme de participations à des groupes de travaux nationaux et plus précisément:

- De 1992 à 1994, au groupe du CIAME "Actionneurs Intelligents" (Comité Interprofessionnel pour l'Automatisation et la Mesure) animé par M. Staroswiecki pour contribuer à la formalisation du modèle de référence d'un actionneur intelligent.
- De 1995 à 1998, au groupe du CIAME "Interopérabilité" animé par M. Bayart pour contribuer à la définition des mécanismes d'interopérabilité.
- Depuis 1998, au groupe SPSF (Systèmes de Production Sûrs de Fonctionnement) du Groupement de Recherche en Productique (GRP) pour contribuer à la modélisation d'un processus de maintenance en regard de sa problématique de finalité [CGT2, CGT4, CGT5]. Ce groupe est dénommé depuis fin 2001: AS2F (Automatisation et Systèmes Sûrs de Fonctionnement) et animé par E. Craye et M. Combacau. Cette participation nous a permis de tisser des liens plus étroits avec le LAG, le LAB, le LGP, le LAMIH, le LAIL qui se sont concrétisés par un papier commun [C119] (LAG, CRAN, LAIL) dans une session invitée du congrès MCPL2000.
- Depuis 1999, à l'action S3 (Sûreté, Surveillance, Supervision) du GdR Automatique animée maintenant par C. Berenguer, D. Maquin et Q. Zhang pour contribuer à la modélisation d'un processus de maintenance en regard de sa problématique de modélisation [CGT3].

A ces collaborations nationales, il convient d'ajouter au niveau local, une participation entre 1992 et 1996, au groupe AMI (Actionnement et Mesure I... comme intelligent, intégré, interopérable) du CRAN animé par M. Robert et P. Lhoste, et réunissant les chercheurs d'horizons et de cultures différents (Automatique continue, réseaux de communication, ...). L'objectif a été d'élaborer un modèle de référence partiel permettant d'exprimer le savoir-faire du CRAN dans le domaine de l'instrumentation intelligente et de faire converger les différentes recherches, historiquement menées en parallèle sur les capteurs et actionneurs intelligents.

2.2 Coopérations en cours (2002-2006)

Vers une nouvelle forme de relation entre l'homme et les systèmes intelligents de production: Projet "Automatisation et Prévention des Risques" (période 2001-2006)

Participants: G. Morel, B. lung

Au plan local, les Universités de Lorraine et les collectivités ont toujours soutenu la thématique Sûreté Industrielle aboutissant pour le 4^{ème} Contrat de Plan Etat Région (2000-2006) à consacrer en Lorraine, l'existence d'un Pôle de Recherches Scientifique et Technologique "Sûreté Industrielle et Déchets" dans lequel le CRAN est leader du projet "Automatisation et prévention des risques" [PR2] (responsabilité

du Pr. J.F. Aubry)³². Ainsi suite à l'étude réalisée dans le cadre du 3ème CPER [PR1] sur la nécessité de mener une approche globale de conception des systèmes ou produits industriels complexes dans laquelle l'automatisation et la prévention des risques sont des activités indissociables, ce nouveau projet a pour objet de développer cette approche dans le cadre de deux types de systèmes particuliers. Il s'agit des **systèmes dormants**, inactifs ou très peu actifs pendant de très longues durées et sollicités de manière aléatoire pour des actions exceptionnelles ou réveillés pour évoluer rapidement et dangereusement (exemples: stockages de produits instables, systèmes de sécurité...) et **des systèmes enfouis**, "objets technologiques" domestiques ou professionnels utilisés journalièrement, intégrant de plus en plus d'automatismes et/ou de fonctions d'assistance sous forme d'électronique programmée ou d'intelligence technique. Relativement à ces systèmes, les risques ne dépendent pas de la seule présence de l'électronique enfouie mais aussi de son interaction avec l'équipement tout entier, d'une part, et de son utilisateur, d'autre part. Le comportement de l'homme en particulier reste impossible à prévoir avec certitude. Le partage de décision ou d'initiative entre l'homme et la machine devient alors un point délicat. Par ailleurs les applications enfouies s'intègrent de plus en plus dans des systèmes coopérants distribués, dont la complexité est croissante. Leur surveillance, leur commande ou leur maintenance à distance, à travers les réseaux téléinformatique posent de nombreux problèmes liés à la sécurité ou à la confidentialité.

Le travail à mener dans ce projet consiste donc à développer et éprouver des méthodes et outils pour la **conception** et l'adaptation des moyens de contrôle et de maîtrise de ces systèmes afin d'en réduire les risques. Il relève de l'association de compétences multiples (e.g. organismes de sécurité, psychologues, ergonomes, assureurs, ...) autour des automaticiens afin de concourir à un processus d'innovation en ce domaine.

Le principe est d'obtenir des moyens d'évaluation des performances de ces systèmes en matière de sûreté du fonctionnement afin d'apporter une aide efficace et précoce à la décision, la certification et la vérification de la conformité aux normes et à la réglementation. Pour ce faire, deux groupes de travail ont été constitués: le groupe A sur la sûreté de fonctionnement des architectures de ces nouveaux systèmes et le groupe B sur la relation homme-machine dans ces nouveaux systèmes.

Le groupe de travail B auquel nous participons, rassemble ainsi des automaticiens et des psycho-ergonomes et est intitulé "Nouvelles formes de relation entre l'homme et les automatismes dans les systèmes enfouis et dormants". L'objectif est de définir et de caractériser de façon précise ces systèmes enfouis et dormants par rapport au triptyque technologie-organisation-humain afin d'identifier pour chaque critère les risques liés aussi bien à la conception, à l'utilisation et à la maintenance de ces systèmes en tenant compte du caractère symbiotique des interactions et du caractère potentiellement dangereux de leur évolution. Enfin nous devons proposer des modalités de recherche pour évaluer ces risques (e.g. expérimentation) afin de dégager pour les plus critiques des problématiques scientifiques à étudier potentiellement dans le cadre de thèses co-encadrées (e.g. automatique, psycho-ergonomie).

³² Le descriptif de ce projet est écrit à partir du document de demande de financement dans le cadre du contrat de plan état-région 2000-2006, du projet Automatisation et Prévention des Risques du PRST "Sûreté Industrielle et Déchets". J.F. Aubry. (octobre 2001).

Vers la définition des nouvelles problématiques scientifiques en e-maintenance: Réseaux CENNET et IMS-NOE (période 2001-2004)

Participants: G. Morel, B. lung

Nos compétences en maintenance prévisionnelle des systèmes intelligents de production nous valent de participer à deux réseaux dans ce domaine qui devraient en retour nourrir, voire conforter, les orientations scientifiques de nos travaux.

Le premier réseau IST CENNET³³ n° 2000 – 28739 (2001-2003) [PE11] qui fait suite au projet EIAM-IPE a pour objet de renforcer entre l'Europe et la Chine, dans le domaine du "Digital Manufacturing and Business", une coopération à la fois technique et scientifique rapprochant les activités du programme Chinois 863/CIMS avec celles du programme Européen IST. Le principe est d'encourager, grâce à des moyens tels que l'organisation de workshop, des groupes de travaux communs, l'élaboration de "Map of Expertise", l'échange d'expérience, le transfert de technologies, la mise en réseau de partenaires et de centre de compétence à travers le Web ... la mise en œuvre à plus long terme de projets de R&D communs impliquant à la fois universitaires et industriels et financés par ces deux régions sur des problématiques relatives au Commerce Electronique, au travail collaboratif (e.g. e-maintenance), à l'Entreprise Virtuelle, au SCM, ...

Dans ce réseau, nous sommes plus précisément en charge de "promouvoir" le domaine clé "e-maintenance" en dualité avec HUST et de l'organisation des 2 workshops en Chine [RPE15].

Le second réseau IMS-NOE³⁴ n° IST-2001–65001 (2002-2004) [PE12] fait suite au groupe de travail IMS-WG et a pour objet, dans les domaines de la conception, de l'ingénierie et de l'exploitation des systèmes manufacturiers au sein de l'entreprise étendue, de créer un environnement regroupant les communautés industrielles et académiques (a) pour développer des liens étroits permettant de coordonner les recherches actuelles et futures, (b) pour faciliter le transfert de connaissance et la dissémination des résultats des recherches et des projets et enfin, (c) pour évaluer le niveau de développement technologique et d'expertise dans ces domaines en Europe. Ce regroupement doit permettre d'atteindre une "masse critique" scientifique et industrielle représentative d'une réelle force dans ces domaines. En ce sens, comme ce réseau entend être un réseau thématique en IMS (proposition en IMS n°2001-002), il se doit de plus d'être reconnu comme un module ou nœud Européen vis à vis du programme IMS inter-régions. Pour mener à bien à cet objectif, le réseau doit mettre en œuvre de nombreuses actions dont les plus importantes sont l'organisation d'événements périodiques (conférences, workshops), la mise en œuvre d'un "benchmarking" accessible par le Web pour évaluer l'apport de ces nouveaux paradigmes en IMS relativement aux approches manufacturières classiques, la création et le déploiement de 6 SIGs (Special Interest Group) en adéquation avec les domaines de recherche retenus et devant dégager, sous la forme de "roadmap" et de "white paper", les futures problématiques scientifiques et industrielles dans ces domaines.

Dans ce réseau, nous sommes plus précisément en charge avec le Pr. Monostori (SZTAKI, Hongrie) de la coordination du SIG2 intitulé "Manufacturing Scheduling and Control in the Extended Enterprise" pour contribuer à fédérer les travaux liés à nos

³³ China Europe Network on the Net

³⁴ Intelligent Manufacturing Systems – Network of Excellence

problématiques et avec une implication active dans le SIG4 intitulé "Benchmarking and Performance Measure".

En complément de ces coopérations, sur cette période 2002-2006, nous avons reconduit notre participation aux groupes de travaux AS2F du GRP et S3 du GdR Automatique et avons été sollicité en fin d'année universitaire 2001-2002:

- au plan national par le Pr. N. Zerhouni (LAB) pour créer au sein du club Génie Industriel un groupe de travail en "Ingénierie de Maintenance pour la performance globale" afin de fédérer au niveau Français l'ensemble des laboratoires travaillant dans ce domaine (LAB, LAG, CRAN, LGP, LAMIH, LM2S,...). Ce groupe est actif depuis fin juin 2002.
- au plan Européen pour être associé à deux "Expression of Interest" préfigurant le futur appel d'offre du 6^{ème} PCRD
 - par le Pr. F. Riane (Fucam, Belgique) pour une Eol intitulée "Intelligent Maintenance for Life Cycle Optimisation" (IMALCO) cherchant à fédérer au niveau Européen des laboratoires et industriels travaillant sur l'ingénierie de la maintenance pour l'optimisation des performances produit/processus tout au long de leur cycle de vie.
 - par le Pr. Ruth Aylett (Université de Salford, UK) pour une Eol intitulée "Dynamics Organisation" cherchant à fédérer au niveau Européen, des laboratoires et industriels travaillant sur les nouvelles formes d'organisation pour la mise en œuvre des processus décisionnels au sein de l'Entreprise.

III. Recherches appliquées pour la rationalisation scientifique des résultats de R&D

En complément à notre activité de recherche "technologique", nos travaux de recherche appliquée ont principalement pour objet de rationaliser les résultats de nos collaborations industrielles (a) sur les systèmes intégrés de contrôle, maintenance et gestion technique à base de composants interopérables puis (b) sur les systèmes intelligents de production, en cherchant à terme, à démontrer l'intérêt et l'applicabilité industrielle de nouveaux paradigmes de modélisation comme ceux issus de l'initiative IMS en regard du paradigme d'intégration CIM qui régit encore l'organisation des entreprises industrielles. Une **recherche appliquée** est une recherche où *il s'agit de tirer profit de ces applications pour expérimenter, développer, conforter, améliorer en partenariat avec d'autres laboratoires les méthodes scientifiques.*

Nos propositions caractérisant ces recherches ont pour résultats majeurs une amélioration des approches de modélisation scientifiques principalement systémique et des méthodes de modélisation basées sur des modèles de référence dédiés à la pré-normalisation européenne des outils-méthodes de la classe de nos systèmes. Ces modèles de référence formalisent de façon suffisamment complète les heuristiques d'ingénierie à mettre en œuvre pour développer, par dérivation, des systèmes particuliers. Ils représentent, pour répondre à l'évolution des problématiques industrielles de nos coopérations, la réalité complexe de ces systèmes intégrés/distribués à différentes classes d'interopérabilité (A puis B et enfin C) puis intelligents. Pour juger de leur pertinence, ces modèles ont été appliqués, à la fois à la modélisation de la plate forme IMS du CRAN (voir chapitre "ressource expérimentale") mais aussi à la modélisation de systèmes plus complexes (type systèmes de régulation des fumées) de sites industriels pilotes (Centrale EDF thermique du Havre, Barrage Hydroélectriques en Espagne et Portugal) des projets européens.

Pour mener à bien ces recherches, nous avons aussi entrepris, dès 1991, un encadrement doctoral (formation par la recherche) qui représente à ce jour 4 thèses soutenues, 11 DEAs et 1 DRT soutenus ainsi qu'1 thèse, 2 DEAs et 1 DRT en cours (1 post-doctorat est officialisé pour débiter en janvier 2003).

1. Modélisation processive du fonctionnement des systèmes intégrés à base de composants interopérables

La première phase de la modélisation d'un système intégré de contrôle, maintenance et gestion technique à base de composants interopérables, consiste, dans l'objectif d'élaborer un modèle des besoins fonctionnels exprimés par les utilisateurs et relatif au fonctionnement de ce système (ce qu'il doit faire), en la représentation de son **processus physique**³⁵ (à partir de ses schémas mécaniques), c'est à dire,

³⁵ Le processus physique d'un système est l'ensemble des sous-systèmes de Temps, Espace, Forme mis en œuvre pour obtenir la finalité du système. Ce processus est défini selon le procédé du système défini comme la méthode à suivre pour obtenir la finalité du système.

l'organisation fonctionnelle des tâches opératives pour la réalisation d'un procédé de fabrication que nous avons proposé sous la forme d'une modélisation processive.

1.1 Modélisation processive du processus physique basée sur une logique de flux

Notre proposition sur la modélisation processive du processus physique, a consisté à reprendre, dans les travaux de thèse d'E. Neunreuther [TH2], les travaux de (Mayer, 1995) pour proposer une structuration du processus physique en sous-systèmes de Temps (T), d'Espace (E) et de Forme (F), agencés suivant la séquence Temps/Espace/Forme/Espace/Temps dont la combinaison entraîne la production de la finalité globale du système. Au sens de (Lemoigne, 1990) chacun des sous systèmes réalise respectivement une fonction de stockage, de transport ou de transformation qui modifient les attributs du produit, et sur chacun des sous-systèmes les utilisateurs peuvent exprimer leurs besoins en appliquant la même démarche que sur le système global. Nous avons ensuite complété cette proposition, dans les travaux de DRT de David Morel [DRT1] en développant une approche de modélisation structurée du processus physique basé sur la **représentation des flux d'énergies** [CI20]. En effet, la plupart des systèmes que nous avons étudiés, sont assimilables à des systèmes physiques opérant sur des flux d'énergies (l'ensemble E^e de Miller³⁶), et plus précisément comme pour les barrages hydrauliques, la plate forme IMS, ... à des **systèmes hydrauliques**. L'identification de chacun des flux d'énergie consiste alors à partir des lois de la physique (a) à appliquer le tétraèdre de Paynter³⁷ (variables d'effort, de flux, de déplacement et d'impulsion) en le particularisant à un système hydraulique (pression P_r , débit volumique Q_v , volume V , moment de pression P_p) puis (b) à formaliser les relations entre les différentes transformations d'énergies en utilisant la représentation des sous-processus interopérables de type T, E et F proposés par (Félot, 1997) comme une particularisation des principes systémiques généraux et du tétraèdre d'état:

- un processus de type T consomme des puissances en entrée et produit des énergies en sortie (e.g. stockage de fluide par une cuve),
- un processus de type E consomme des énergies en entrée et produit des puissances en sortie (e.g. circulation d'un fluide),
- un processus de type F consomme des puissances en entrée et produit des puissances en sortie (e.g. pertes de charges introduites par des canalisations).

Chacun des processus peut être alors détaillé par une identification des équations reliant les variables énergétiques (Figure 12) permettant d'obtenir un modèle processif du processus physique fonctionnellement et "interopérablement" structurée par rapport aux flux et transformations indépendamment de toute procédure d'identification.

³⁶ J.A. Miller (1995), *living systems*, the organization of behavioural sciences, vol.10, n°3&4.

³⁷ H.M. Paynter (1961), *Analysis and design of engineering systems*, MIT press, Cambridge.

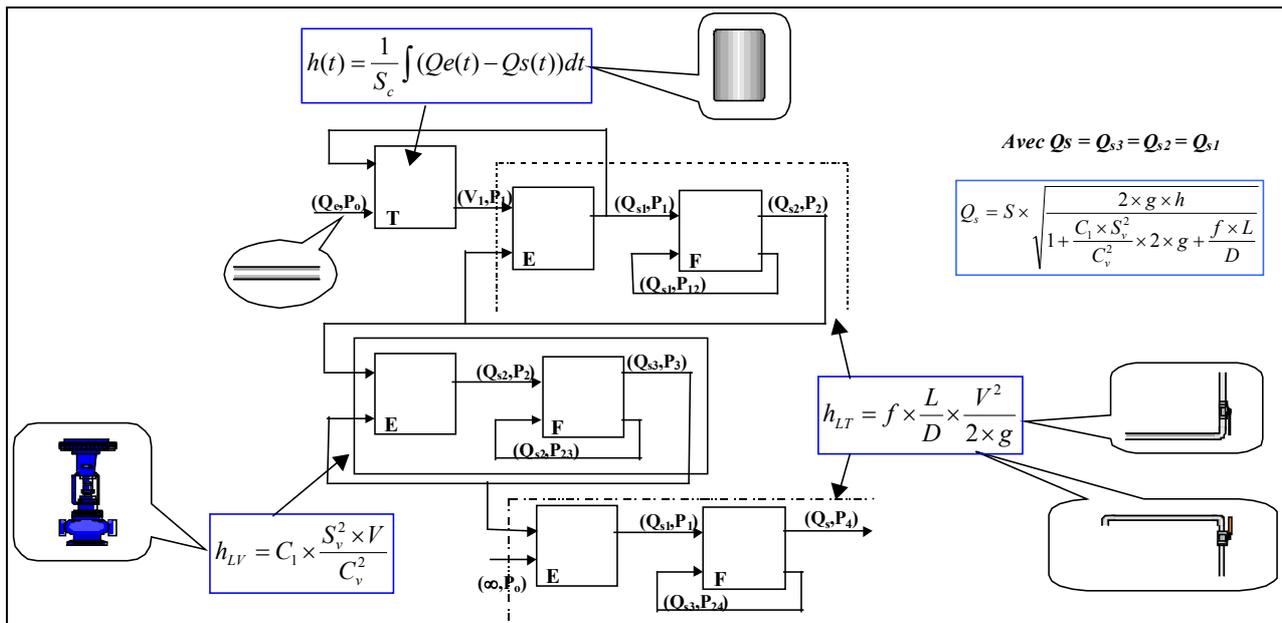


Figure 12: Modèle processif en T, E, et F du processus physique de la plate forme IMS

1.2 Modélisation, par émergence, des boucles d'action et d'observation des systèmes intégrés à base de composants interopérables

Pour compléter le modèle de fonctionnement de nos systèmes à partir de la modélisation processive du processus physique, nous avons proposé de modéliser les fonctions "intelligentes" d'action et d'observation (rationalisation de la fonction intelligente d'Actionnement et de Mesure) "supportant" chacun de ces processus en formalisant le principe d'émergence. Ce principe d'émergence³⁸ dont les fondements systémiques ont été proposés par (Mayer, 1995) a été ainsi éprouvé initialement dans les travaux de thèse de J.F. Pétrin [TH1] puis repris dans les travaux de thèse d'E. Neunreuther [TH3] pour "automatiser" (principe cybernétique de Wiener) le processus (chacun de ses sous-processus) à travers la réalisation, de manière artificielle, d'une boucle d'effet et d'observation composée par voie de conséquence d'un canal d'actionnement et d'un canal de mesure, en interaction, d'une part, avec les opérateurs de son processus physique, et d'autre part, ses utilisateurs finaux (application du mécanisme d'émergence sur l'interaction "agent/propriétés transformées du produit") [RI1]. Les canaux émergents réalisent par conséquent une transformation des flux informationnels traités par les utilisateurs du système, en flux matériels manipulés par les opérateurs du processus physique de ce système. Ils constituent au sens de Le Gallou des opérateurs de nature, quatrième opérateur de la systémique complétant les opérateurs de Forme, d'Espace et de Temps. Pour relier les canaux d'Actionnement aux canaux de Mesure, l'application du principe d'émergence permet, dans un deuxième temps, de développer une fonction de contrôle dont le rôle est de traiter les informations produites et consommées par ces canaux pour répondre aux requêtes/comptes-rendus exprimés par les utilisateurs

³⁸ Les propriétés d'un tout ne se limitent pas à la somme de ses parties et que, de l'assemblage des parties émergent des propriétés nouvelles. Naslin P., les trois masques de la connaissance. Editions SIRPE, 1991.

finaux sur l'ensemble du système. Dans les travaux de J.F. Pétin cette approche de modélisation est supportée par le formalisme NIAM³⁹ (Figure 13) permettant de formaliser le principe d'émergence par un mécanisme de substantivation. Cette représentation est retranscrite et complétée dans les travaux de [TH3] à base du formalisme entité/association étendu (Figure 14) pour être fédérée avec d'autres modèles de référence supportant l'ensemble de la démarche de modélisation de nos systèmes.

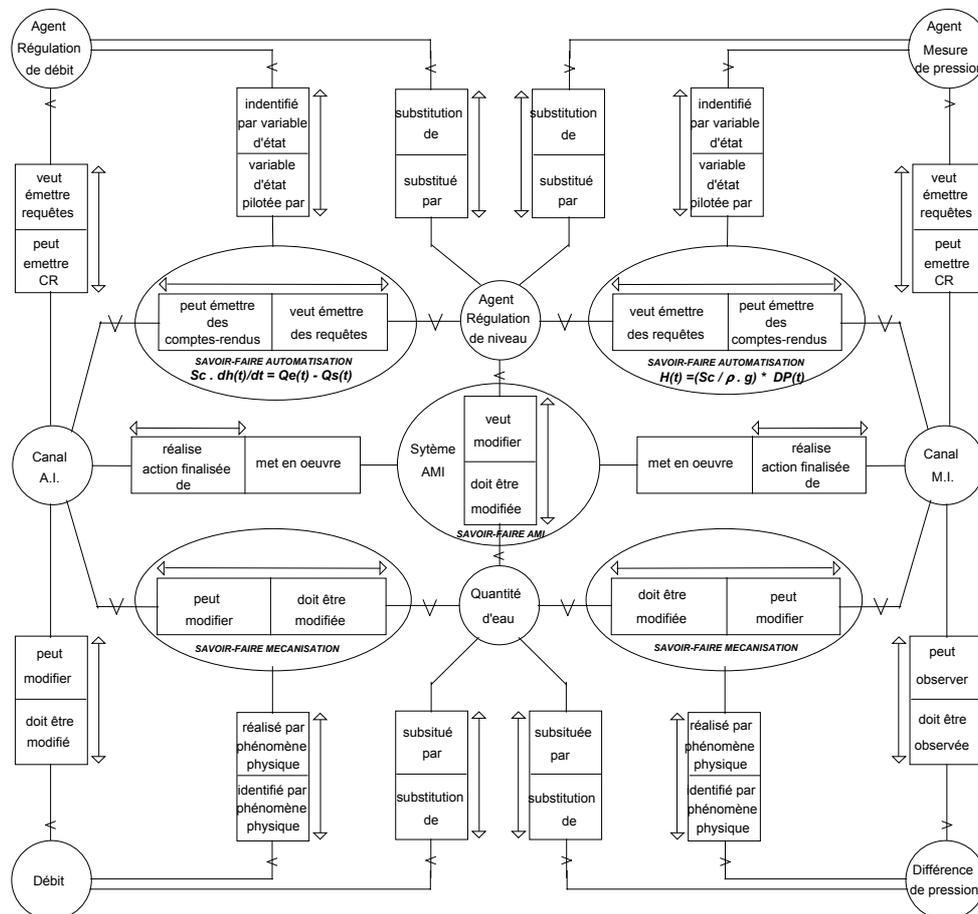


Figure 13: Modèle, en formalisme NIAM, de la boucle rétroactive d'actionnement et de mesure appliquée au sous processus de niveau d'eau

En ce sens, à partir des boucles d'automatisation ainsi réalisées, le besoin de commandabilité et d'observabilité des canaux d'actionnement et de mesure, nous a conduit à formaliser l'interaction entre une fonction de contrôle et un canal d'actionnement ou de mesure par l'émergence de nouvelles fonctions d'actionnement ou de mesure (approche descendante liée au savoir-faire d'automatisation). Leur rôle est de commander ou d'observer les opérateurs d'actionnement et de mesure qui composent les canaux pour répondre aux besoins utilisateurs exprimés sur ces canaux. De manière ré-entrante, l'application de ces processus de raffinement sur les interactions entre des fonctions et des opérateurs d'actionnement ou de mesure, permet d'identifier l'ensemble des fonctions et des opérateurs nécessaires pour atteindre les critères de commandabilité et d'observabilité attendus, c'est à dire d'identifier des opérateurs technologiques commandables et/ou observables (approche ascendante liée au savoir-faire mécanique ou métrologique).

³⁹ Nijssen Information Analysis Methodology

Les fonctions qui composent les canaux du système, représentent ses traitements d'information transformationnels et les opérateurs d'actionnement et de mesure, l'instrumentation de ce système, c'est à dire ses capteurs et ses actionneurs. Cette démarche de modélisation aboutit à un ensemble de modèles de référence pour la structuration fonctionnelle des processus physiques des systèmes intégrés à base de composants interoperables.

Cette formalisation du principe d'émergence, sur la base des travaux de [TH1], a été validé par la modélisation des fonctions d'Actionnement et de Mesure au cas de la plate forme IMS (Travaux de DEA de L. Hurpeau [DEA4]) et sa faisabilité dans le domaine des systèmes manufacturiers a fait l'objet des travaux de DEA de R. Chabassier [DEA5].

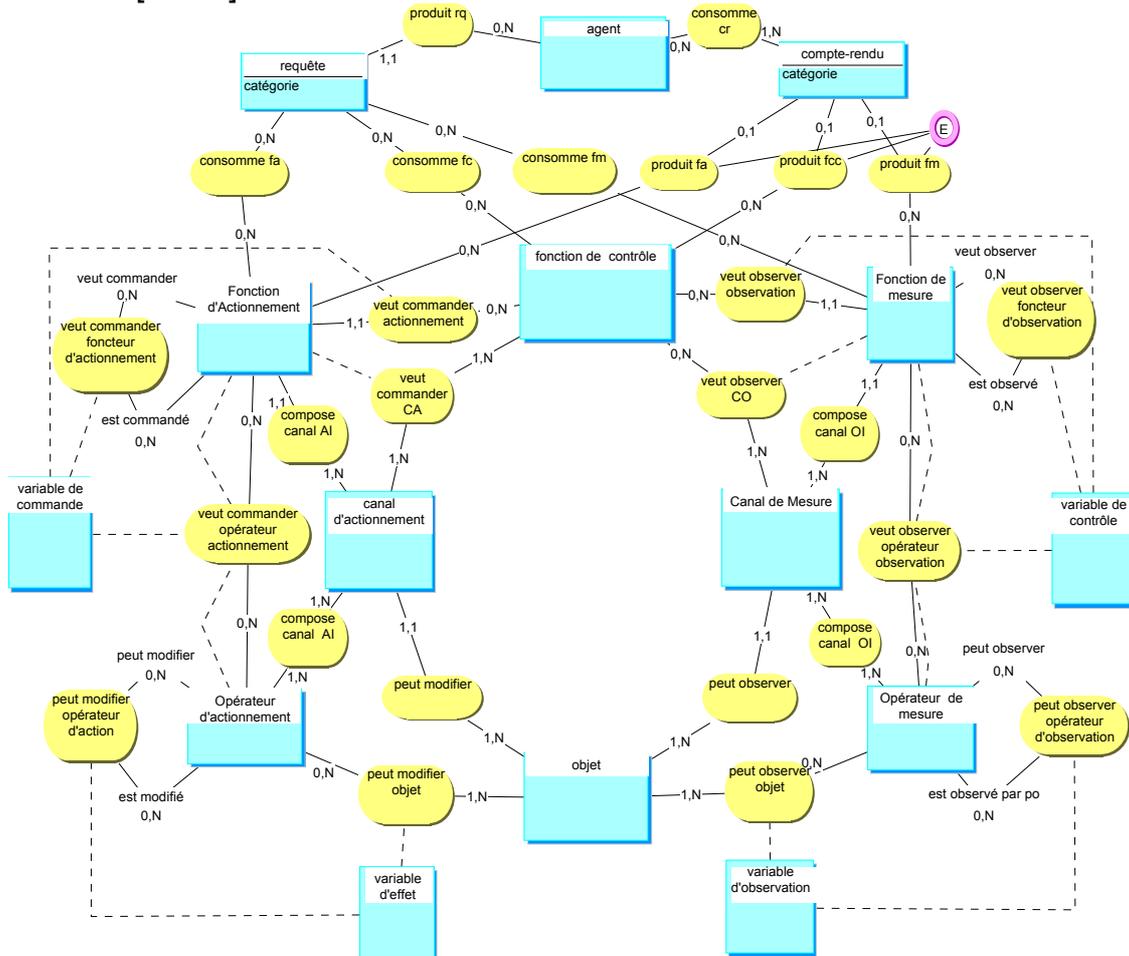


Figure 14: Modèle, en formalisme entité-association étendu, de la boucle rétroactive émergente d'actionnement et de mesure

2. Modèles de référence pour pérenniser l'approche de modélisation des systèmes intégrés à base de composants interoperables

Pour expliciter totalement l'approche de modélisation de nos systèmes afin de lui conférer les caractéristiques "définie", "observable" requises pour sa **pérennisation**, nous avons proposé une formalisation des résultats de nos R&D dans un cadre de modélisation d'entreprise de type GERAM auquel nous avons proposé quelques extensions.

Ce cadre supporte une modélisation systémique de nos systèmes permettant de considérer la **formalisation** de l'approche de modélisation (condition nécessaire pour l'interfonctionnement) (Staroswiecki et Bayart, 1996) selon, d'une part, une méthode transformationnelle entre un modèle de référence et le modèle particulier du système à réaliser, et d'autre part, une méthode de résolution de l'interaction entre les trois modèles fonctionnels, organisationnels et opérationnels de ce système.

De façon plus générale, cette démarche nous permet de capitaliser (a) des connaissances (invariants d'états des systèmes) sous forme de modèles de référence et (b) des mécanismes de transformation afin de pouvoir dériver, particulariser et générer des modèles particuliers de systèmes intégrés de contrôle, maintenance et gestion technique à base de composants interopérables (Kosanke, 1995). Ces modèles de référence représentent ainsi formellement, l'approche de modélisation caractérisée par la description fonctionnelle, organisationnelle et opérationnelle séparée des processus de contrôle, de maintenance et de gestion technique "distribués", et par l'ouverture de chacun de ces processus vers un système d'informations technique pour son intégration avec les deux autres processus. Ces modèles de référence sont une contribution à la normalisation de type ISA/SP95.01⁴⁰ des processus et informations de niveau terrain en lien avec le niveau business. Ces modèles de référence ont été construits en majeure partie par l'application de mécanismes (a) de **particularisation puis généralisation** de façon récursive ou (b) de **raffinements successifs** en engageant l'ensemble des acteurs concernés. Ces mécanismes nous ont permis de valider, tout au long du cycle de développement, la pertinence de ces modèles.

2.1 Modèle de référence d'actionneurs intelligents

Notre première contribution à la capitalisation de connaissance relativement à l'automatisation de nos systèmes intégrés à base de composants interopérables, nous a conduit dans le cadre de notre thèse dès 1992 (rationalisation des résultats du projet DIAS), à l'élaboration d'un modèle de référence particulier d'un composant dit intelligent (plus précisément d'un composant de type vanne) formalisant ses fonctions, ses informations et ses comportements génériques [RI2, INV1, CI2, CI3]. Ce modèle de référence (Figure 15), issu d'une méthodologie complète de modélisation allant jusqu'à l'expérimentation sur site réel, est tiré du "savoir-faire" des utilisateurs sans référence à l'offre technologique mais permettant aux "offreurs" de positionner leurs produits par rapport à ces besoins. L'élaboration de cette méthodologie qui se veut diachronique⁴¹, a elle-même suivi une démarche partiellement diachronique (Vogel, 1988) par la définition d'un modèle pratique et d'un modèle cognitif.

Le modèle pratique, au-delà d'une extraction informelle de la connaissance et des besoins de chacun des agents sous forme textuelle (besoins relatifs à la vanne en termes de fonctions, de requêtes, de comptes rendus), s'est référé à la méthode IDEF0 pour permettre des échanges avec un langage commun, entre ces différents

⁴⁰ Isa/ds95.01. (1999) Enterprise - Control System Integration Part 1: Models and Terminology. Isa/ds95 standard. Draft 14, November.

⁴¹ *Elaborer un "modèle appliqué" d'un système est donc une activité qui peut relever d'une démarche orientée "synchronique" basée sur des modèles théoriques et des outils généraux, ou d'une démarche orientée "diachronique" basée sur la connaissance d'un domaine exprimée à l'aide de modèles et outils typés par rapport au domaine d'application... dans le deuxième cas, les qualités du système réalisé dépendent principalement de la cohérence du modèle de référence utilisé par rapport au domaine concerné (sémantique externe).* (Lhoste, 1994).

agents interagissant avec les processus d'automatisation de nos systèmes. Le modèle cognitif a ensuite permis d'affiner et formaliser la sémantique de chaque processus, par une description comportementale des fonctions et une définition détaillée des informations constituant leurs interfaces. L'affectation d'un comportement à chaque fonction a autorisé par ailleurs une validation dynamique de chacun des processus. La mise à plat de ce modèle, pour en offrir une vue plus machinable, a abouti au modèle de référence recherché. Ce modèle a été, dans les travaux de DEA J.F. Pétrin [DEA1, RN2]) particularisé à 4 types différents de vannes motorisées pour donner lieu à des expérimentations en laboratoire EDF et sur site. Ces expérimentations ont permis de valider la notion d'architecture distribuée d'automatisation basée sur le principe de composants interopérables en mettant cependant en évidence, pour atteindre une interopérabilité de classe B, les incomplétudes du modèle de référence qui a privilégié une description de la vue interne du fonctionnement des équipements au détriment d'une vue externe représentant les fonctions mises en œuvre à la fois par les équipements de terrain et le processus d'application [RN3]. Cette réduction du concept d'externalité, se traduit au niveau technologique par des équipements intégrés (et non pas intelligents) à fortes capacités de traitement, le système d'informations de l'environnement n'étant pas implanté

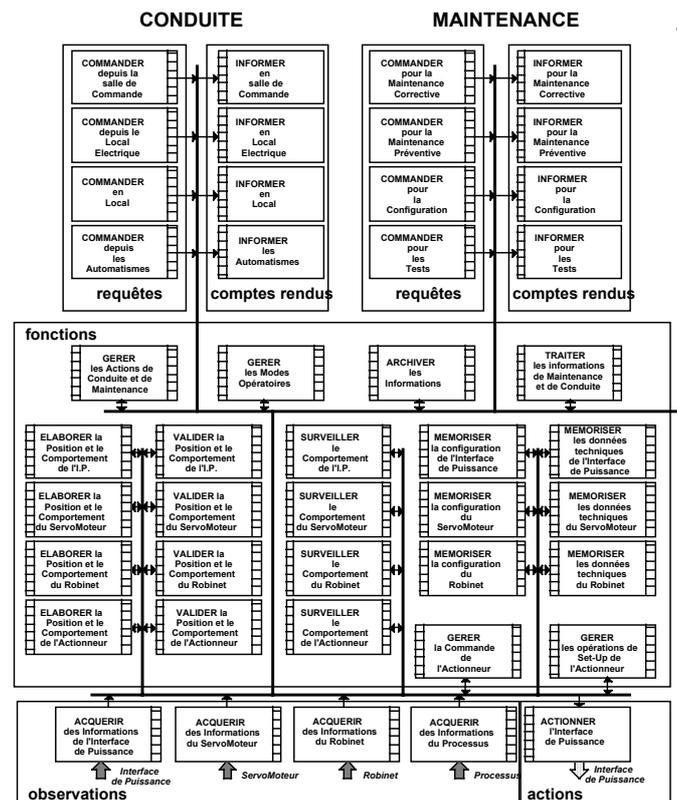


Figure 15: Modèle machinable, ultime formalisation du modèle de référence d'un composant dit intelligent

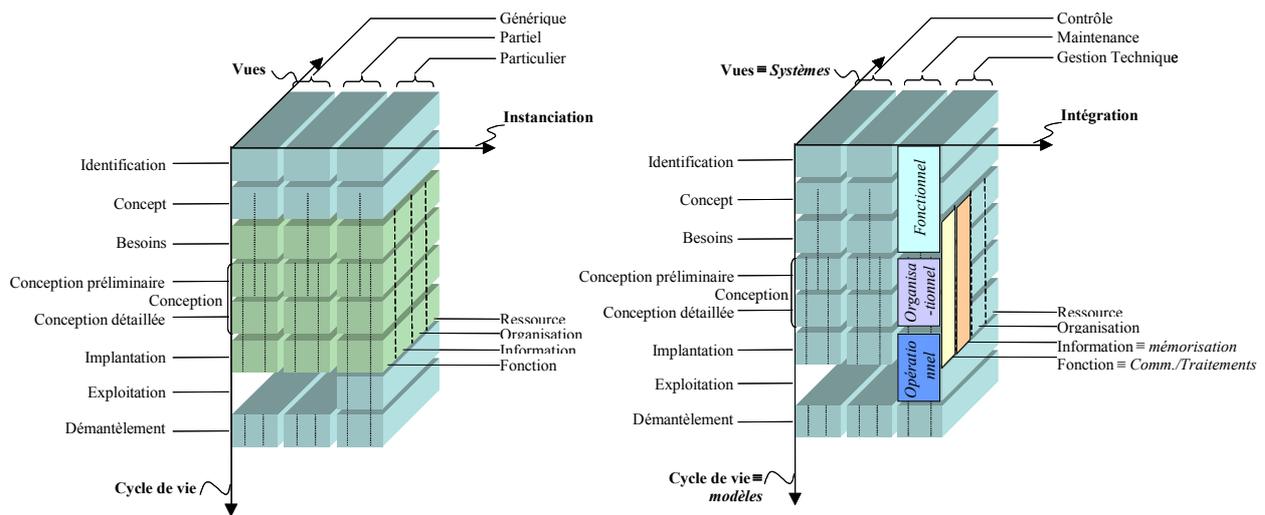
2.2 Extension du cadre de modélisation d'entreprise GERAM pour la modélisation des systèmes intégrés à base de composants interopérables

Pour assurer la cohérence et la complétude de nos résolutions méthodologiques de pérennisation du processus de modélisation de nos systèmes, nous avons proposé initialement dans les travaux de thèse d'E. Neunreuther [TH2] (relativement à

l'architecture de référence) puis de façon plus complète dans ceux de J.B. Léger [TH3], un cadre de modélisation [CN1] se référant principalement au cadre de modélisation d'Entreprise GERAM qui est apparu le plus fédérateur.

Ce cadre de modélisation qui s'appuie sur les recommandations normatives de la Task Force IFIP/IFAC (Williams et Li, 1997) pour le standard ISO WD 15704, sur les travaux du consortium CIMOSA (Kosanke, 1995), et sur ceux plus généraux de la modélisation systémique (Mayer, 1995), a pour objet de proposer (a) une architecture de modélisation intégrant les différents modèles et points de vue, (b) une méthodologie permettant de guider globalement le processus de modélisation et (c) un langage permettant de décrire les éléments de la modélisation. Il supporte également l'intégration de définition de concepts génériques de modélisation et de modèles de référence.

- (a) Par rapport à l'architecture de référence, nous avons proposé à partir du cadre GERAM de définir une **architecture de référence de contrôle, maintenance et gestion technique** (Figure 16) [C19] comportant trois axes:
- l'axe intégration de contrôle, maintenance et gestion technique pour modéliser ces systèmes à intégrer à un niveau terrain en suggérant d'une part de modéliser séparément le contrôle, la maintenance et la gestion technique puis de les intégrer par le système de gestion technique pour former un tout cohérent.
 - l'axe modèle pour modéliser un système sur chacun de ses pôles **fonctionnel** (description indépendante de toutes contraintes technologiques de ce que doit faire le système par rapport à une finalité donnée, dans un environnement donné), **organisationnel** (description à la fois indépendante et dépendante des solutions technologiques pour exprimer comment le système a été construit et ce qu'il devient) et **opérationnel** (description dépendante des solutions technologiques de ce que doit faire le système). L'axe "modèle" peut être substitué par un axe "cycle de vie" pour définir les modèles du système non pas relativement au paradigme systémique mais plutôt par rapport à une méthodologie de conception.
 - l'axe système qui modélise un système pour chacun de ses points de vue, communication, mémorisation et traitement. Relativement à l'axe "vue" de GERAM, les points de vue Traitement et Communication sont équivalents au point de vue Fonction (fonctionnalité et comportement d'un système) alors que les vues "Ressource" et "Organisation" n'apparaissent pas sur l'axe système car elles sont respectivement modélisées sur les pôles organisationnel et opérationnel par des modèles de communication, de mémorisation et de traitement.
- (b) Par rapport à la méthodologie de modélisation, nous avons proposé une méthodologie de modélisation basée sur la méthodologie CIMOSA en y intégrant les principes systémiques d'interaction environnement objet, de finalité de flux d'organisation ainsi que le principe de modularité (voir § 2.3.). Cette méthodologie de modélisation représente la démarche à suivre pour assurer la cohérence globale entre les modèles élémentaires du système.
- (c) Par rapport au langage de modélisation, nous avons proposé un langage de modélisation basé sur le langage de modélisation formalisé en CEN/CENELEC ENV 12204 en y intégrant la notion de projection d'objectifs, le concept de flux ainsi que le principe d'intégration du contrôle, de la maintenance et de la gestion technique (voir § 2.3.).



(a) Architecture GERAM

(b) Extension de l'architecture GERAM

Figure 16: Architecture de référence de contrôle, maintenance et gestion technique relativement au cadre GERAM

Ces trois éléments, supports à la modélisation, auxquels viennent s'adjoindre dans les travaux de thèse de J.B. Léger [TH3], des concepts génériques et définitions de maintenance mais aussi des modèles de référence combinant quelques éléments de théories, de définitions et de modèles généraux de maintenance (Travaux initiaux de DEA de J.B. Léger [DEA7]), constituent une définition "syntaxique" du cadre de modélisation nécessaire à l'intégration méthodologique des différents processus mais non suffisante (Wortmann, 1997) pour assurer que le système modélisé corresponde aux besoins de ses utilisateurs. Il importe ainsi d'y adjoindre une **sémantique métier**, principalement sous la forme de modèles de référence, pour concevoir chacun des systèmes tout en les intégrant dans le cadre formel proposé. Ce cadre dans son ensemble, est ainsi une proposition des fondements scientifiques nécessaires à la définition de ces systèmes.

2.3 Extension du cadre de modélisation CIMOSA pour la modélisation des systèmes intégrés de contrôle, maintenance et gestion technique à base de composants interopérables

Pour disposer, au sein du cadre GERAM, des méthodologies et langages de modélisation adaptés à la modélisation de nos différents processus d'automatisation et plus précisément celui de maintenance [OI1], nous avons proposé dans les travaux de thèse [TH3], d'une part, d'enrichir la méthodologie CIMOSA, et d'autre part, le langage de modélisation issu de la normalisation CEN/CENELEC ENV 12204. L'extension de la méthodologie CIMOSA a consisté principalement à y intégrer:

- le lemme systémique d'interaction environnement objet (Figure 17) pour justifier l'existence du système et de ses processus en interaction avec son environnement,
- le lemme systémique d'émergence de finalité pour définir le champ du processus (sujet d'intérêt) ainsi que ses limites (événements et vues d'objets échangés avec le contexte),

- le lemme systémique de flux pour modéliser le processus et ses sous processus à travers les vues d'objets qui produisent ou consomment dès les phases de modélisation descendante,
- le principe systémique d'organisation pour proposer une démarche de conception intégrée des processus de contrôle, maintenance et gestion technique (Figure 18),
- le principe de modularité pour décomposer chaque processus en une hiérarchie de processus.

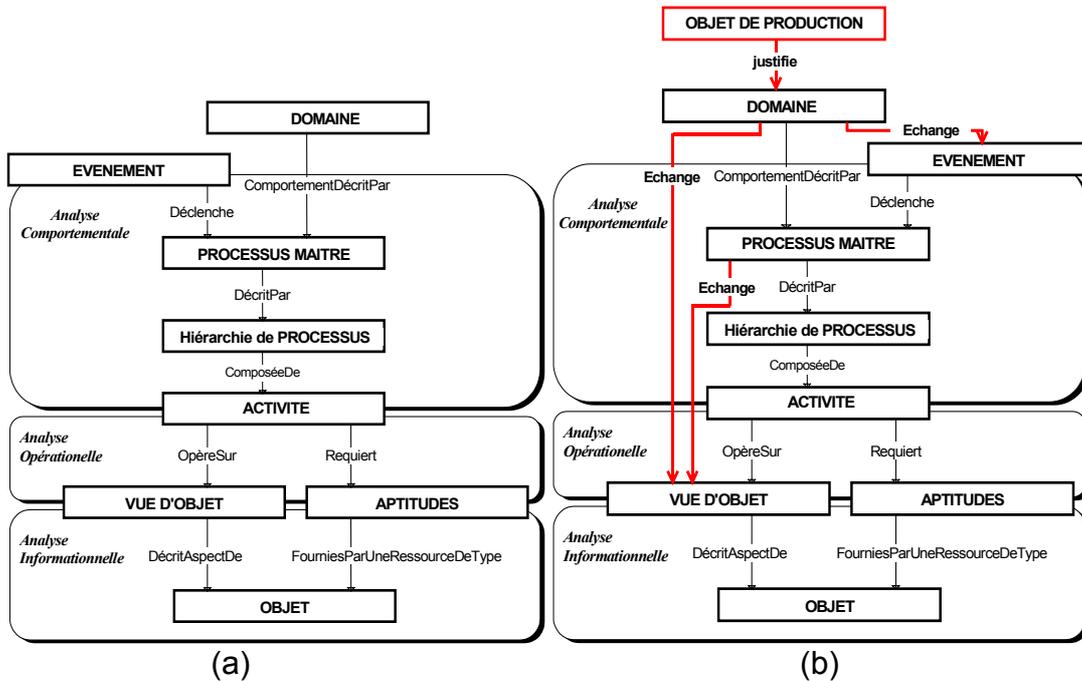


Figure 17: Extension (b) de la méthodologie CIMOSA (a) par l'intégration du lemme systémique d'interaction environnement – objet.

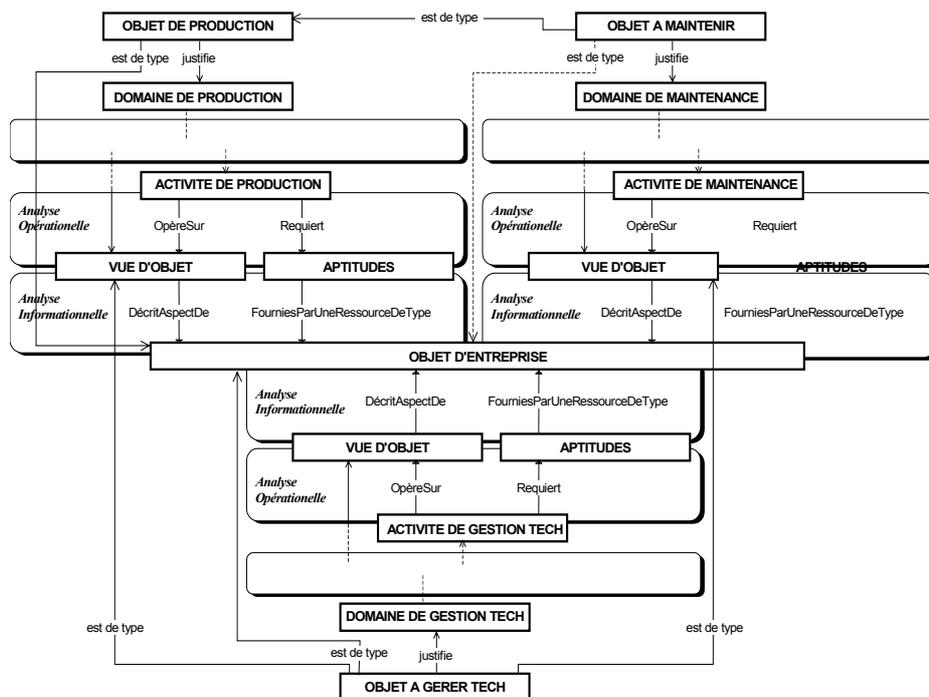


Figure 18: Proposition d'une démarche de conception intégrée des processus

Cette méthodologie ainsi enrichie représente globalement pour le concepteur, la démarche à suivre, au niveau terrain, pour assurer la cohérence globale entre les modèles élémentaires de nos systèmes.

Par rapport au langage de modélisation, nous avons défini le langage de modélisation de nos systèmes à partir de celui de la normalisation, selon une notation ensembliste (Habrias, 1995) pour chaque élément de modélisation en y intégrant la notion de projection d'objectifs, le concept de flux ainsi que le principe de processus de contrôle, maintenance et gestion technique intégrés. Nous avons par conséquent formalisé les concepts de domaine, de processus maître et de processus auxquels nous avons intégré la notion de projection de propriétés puis les concepts d'activité, de vue d'objet (Figure 19), d'objet et de flux.

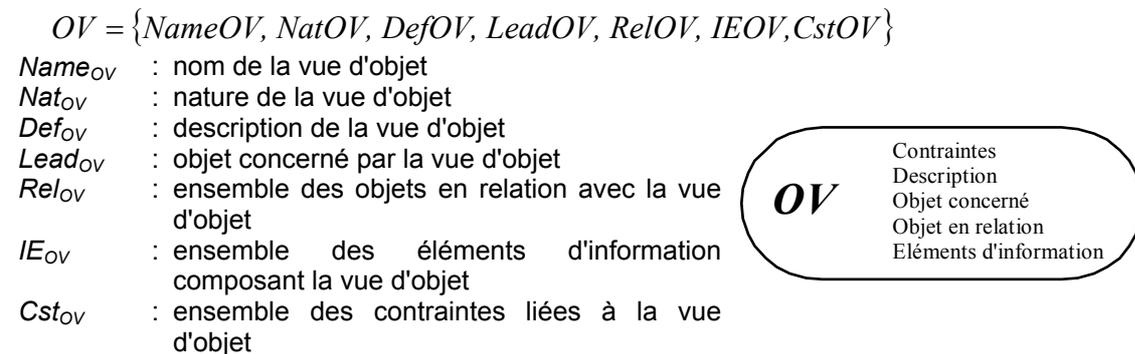


Figure 19: Modèle de vue d'objet (object view) basé sur la norme ENV 12204

2.4 Formalisation des modèles de référence pour la modélisation du processus de contrôle et de son intégration

Pour intégrer, d'un point de vue **contrôle**, une sémantique métier dans le cadre de modélisation, nous avons, à travers les travaux de thèse d'E. Neunreuther [TH2], contribué à la distribution du contrôle et de la gestion technique d'un système intégré de contrôle, maintenance et gestion technique sur les composants interopérables (système dénommé à ce stade SIPID: Systèmes Intégrés de Production à Intelligence Distribuée en référence aux SAPID) (Bayart, 1994) en proposant un procédé de modélisation basé sur un ensemble de paradigmes (systémique, ensembliste, information, automate) (Habrias, 1995).

Ce procédé de modélisation formalise les invariants d'états de nos systèmes sous forme de modèles de référence notés en modèle relationnel n-aire et les mécanismes de transformation de ces modèles en modèles particuliers sous forme de règles en logique du premier ordre [R15]. Ces modèles de référence représentent à la fois (a) la description fonctionnelle, organisationnelle et opérationnel du contrôle distribué de nos systèmes, mais aussi (b) l'ouverture de ce contrôle vers un système d'informations technique pour son intégration avec la maintenance et la gestion technique.

En ce sens, les modèles de référence développés explicitent premièrement la modélisation d'architectures fonctionnelles de contrôle à partir de la modélisation processive du processus physique puis la projection de ces architectures fonctionnelles sur des architectures organisationnelles distribuées. En effet, à partir des fonctions de contrôle, d'actionnement et de mesure qui ont émergés lors de la modélisation du processus, nous avons formalisé les blocs fonctionnels de contrôle

en nous basant sur la proposition de norme IEC 1499 (Figure 20) et sur les Modules Fonctionnels d'Automatisme, afin de spécifier le comportement de chacune de ces fonctions. Les Diagrammes des Besoins Fonctionnels obtenus par dérivation de ces modèles de référence sont donc composés de blocs fonctionnels de contrôle dits "intelligents" par leur interopérabilité et leur capacité à se surveiller et à se gérer.

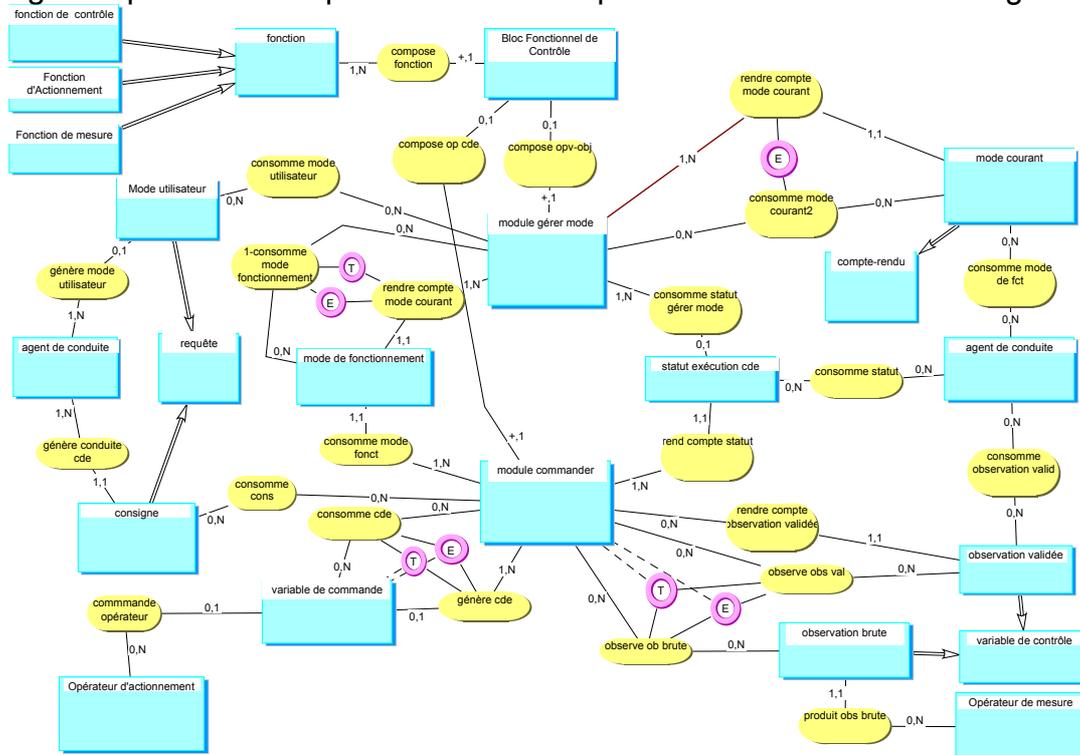


Figure 20: Modèle de référence, en formalisme entité-association étendu, d'un bloc fonctionnel d'après l'IEC 1499

Dans une deuxième étape, nous avons formalisé les règles de projection des fonctions identifiées dans un Diagramme des Besoins Fonctionnels sur les fonctions d'un Diagramme Organisationnel. Le Diagramme Organisationnel de contrôle obtenu par dérivation de ces modèles de référence modélise ainsi un système de contrôle dit "intelligent" puisque distribué, interopérable et ouvert sur son environnement par la production d'informations sur son état et sur son statut.

Nous avons ensuite, pour réaliser l'intégration du contrôle avec la maintenance et la gestion technique, proposé des modèles de référence explicitant d'une part les transformations entre les Diagrammes Organisationnels de leurs systèmes de contrôle et les Diagrammes Organisationnels de leurs systèmes d'information technique, et d'autre part, l'implantation de ces Diagrammes Organisationnels sur l'infrastructure intégrante de leurs architectures opérationnelles.

Ces modèles de référence ont été réalisés en complétant les fonctions d'actionnement, de mesure et de contrôle, identifiées lors de la structuration du processus physique par des modules de traitement transactionnels (forme), des flux de communication (espace) et des modèles de données (temps), interprétant ainsi le paradigme systémique qui organise tout système dans un référentiel temps/espace/forme (Figure 21). Nous avons enfin formalisé les mécanismes d'implantation de ces traitements, de ces communications et de ces données sur une infrastructure intégrante ce qui a permis, entre autres, relativement à la communication induite par cette implantation, de modéliser les concepts de Services

Fonctionnels Standards et de Services de Communication Standards (logique et physique) rationalisant les concepts de FCS et CCS.

Cette approche complète de modélisation a été validée par la dérivation des modèles de référence proposés au système particulier de la plate forme IMS [C111] et a donné naissance au prototype d'un outil méthode.

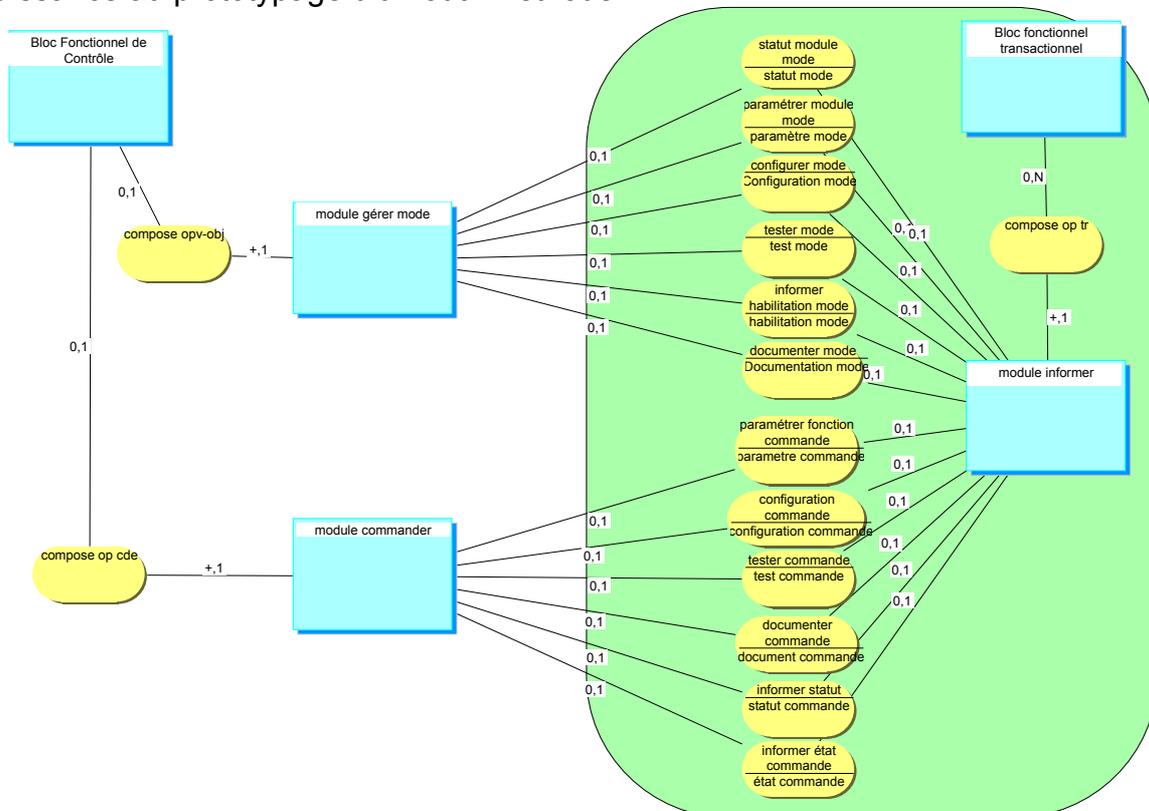


Figure 21: Modèle de référence, en formalisme entité-association étendu, des blocs transformationnel et transactionnel de nos systèmes

2.5 Formalisation des concepts génériques et modèles de référence pour la modélisation du processus de maintenance prévisionnelle et de son intégration

Pour intégrer, d'un point de vue maintenance et plus précisément maintenance prévisionnelle, une sémantique métier dans le cadre de modélisation, nous avons, à travers les travaux de thèse de J.B. Léger [TH3] contribué à la modélisation des fondements du dysfonctionnement d'un système en termes de déviations, dégradations et causalités ainsi que des trois processus fondamentaux de maintenance prévisionnelle que sont le pronostic, le diagnostic et la surveillance [C113, C117]. Cette formalisation des processus qui repose sur l'intégration de concepts génériques et de modèles de référence, résulte d'un procédé de modélisation basé sur les paradigmes systémique, fonctionnel et ensembliste (Léger et Morel, 2001).

Nous avons ainsi, à partir d'une représentation du fonctionnement du système, défini le concept générique:

- de déviation avec différents quantificateurs (Lawley, 1974) applicable à la fois aux propriétés de flux d'objets (quantité d'objets par période considérée ; e.g. énergie, ressource, informj) mais aussi aux propriétés des objets (en Temps, Espace,

Forme) produits ou consommés par le système. Cette déviation générique se modélise en logique modale de type S5 disposant de deux opérateurs de succession base d'un raisonnement pro-actif comme requis par la maintenance prévisionnelle.

- de dégradation d'activité à partir d'un recensement des dégradations génériques normées et en modélisant chacun des comportements de ces dégradations à base des opérateurs de type S5 (pour différencier le fonctionnement à des instants consécutifs) et du langage des prédicats du premier ordre utilisée en IA. Chaque dégradation produit des propriétés d'objets ou de flux sortants, différents en fonction des valeurs des objets ou des flux entrants.
- de causalité en intégrant systématiquement de manière duale un comportement anormal à un comportement normal, et en transposant la proposition de (De Kleer et Williams, 1987)⁴² développée dans le domaine de l'électronique au domaine des systèmes de production. Ceci nous amène à modéliser les transitions possibles entre états de dégradation en utilisant les opérateurs modaux de type S5 comme l'influence d'une déviation d'une propriété d'un objet ou d'un flux d'objets en entrée (cause externe) ou d'une dégradation en interne (cause interne) sur la dégradation du système observable par la déviation d'une propriété d'un objet ou d'un flux d'objets en sortie.

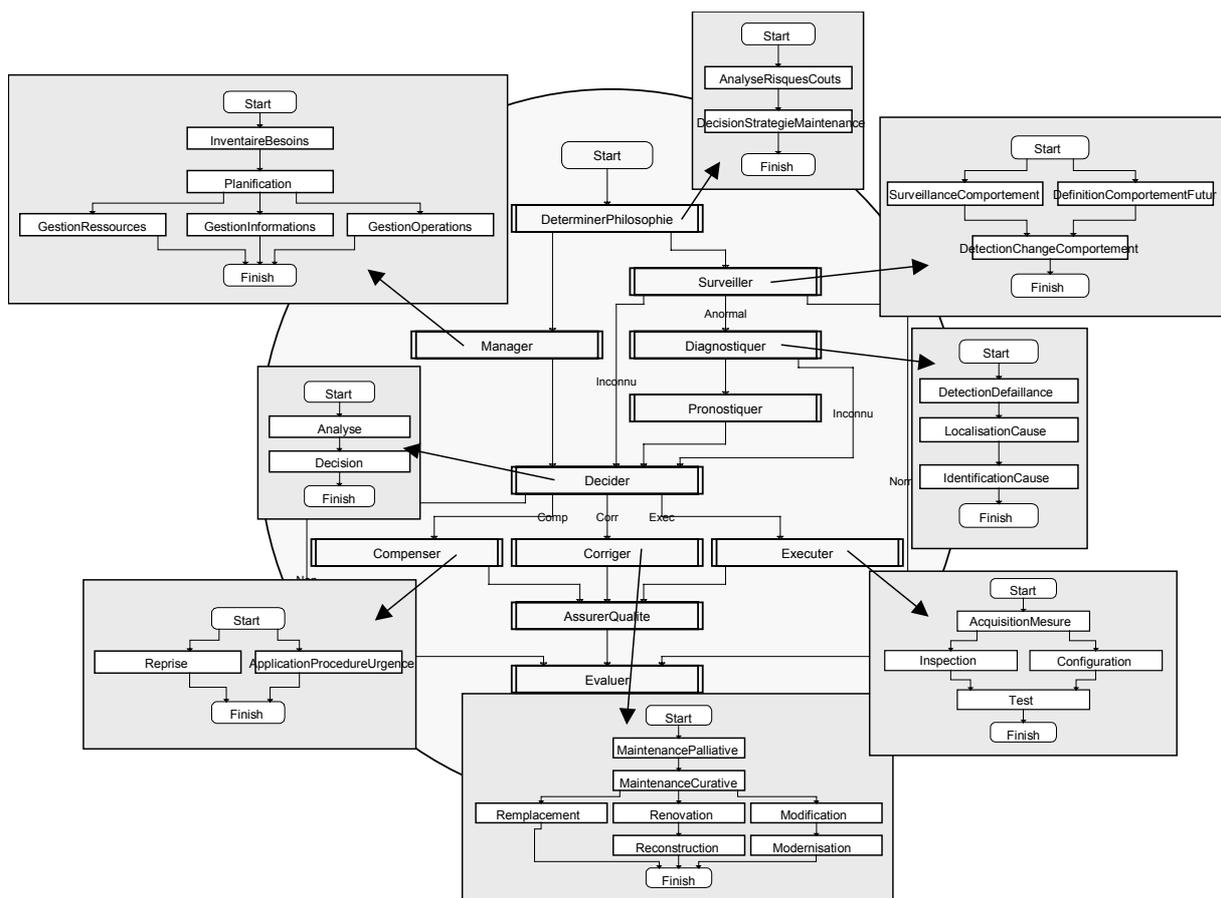


Figure 22: Modèle de référence, à base de la méthodologie et langage CIMOSA, d'un processus de maintenance

⁴² De Kleer et Williams ont montré en électronique qu'il fallait en plus du composant défaillant, mettre en cause ses connexions électriques.

A partir de la modélisation de ces concepts génériques, nous avons ensuite étendu les fondements du "Model-Based Diagnosis" (Console et Torasso, 1992) utilisé en diagnostic en exploitant aussi relativement au contexte d'observabilité, le principe d'abduction (Bylander et al., 1991) pour la formalisation des trois processus de surveillance, diagnostic et pronostic [RI9] (Figure 22). Cette base nous a permis de proposer des modèles de référence pour chacun de ces processus en définissant des interfaces ainsi que des algorithmes génériques constituant un canevas type de processus à particulariser au système considéré. Cette proposition générique a pu être confortée relativement à la rationalisation de notre collaboration dans PRIMA, par une première formalisation à base du langage de modélisation CIMOSA "étendu" d'un modèle générique du processus de maintenance prévisionnelle d'un composant élémentaire.

L'ensemble de ces propositions a été validé, à l'échelle du laboratoire en les appliquant sur la plate forme IMS (intégration des travaux de [DEA8]) et à l'échelle industrielle en les appliquant à des composants des centrales hydroélectriques du projet REMAFEX (sites de France-Covas au Portugal et de Salto de Soutelo en Espagne).

2.6 Modélisation processive pour la formalisation du processus de gestion technique et de son intégration

Pour intégrer, d'un point de vue **gestion technique**, une sémantique métier dans le cadre de modélisation, nous avons, à travers les travaux de thèse en co-tutelle (avec HUST) de Y. Liu [TH4] principalement contribué à la modélisation de ce processus, dans un contexte de modernisation des centrales chinoises de production hydroélectrique. Cette classe d'applications nous a conduit premièrement à une partialisation des problématiques de systèmes intégrés de contrôle, maintenance et gestion technique à base de composants interopérables sous la forme d'un modèle de référence particulier ICMMS (Intelligent Control, Maintenance-technical Management Systems) [RI8, RN5, CI25] formalisant la connaissance de niveau terrain en lien avec le niveau business, nécessaire à l'automatisation de toute centrale hydroélectrique.

Le modèle de référence facilite en conséquence l'intégration de plusieurs techniques améliorant essentiellement les domaines de la maintenance (Intelligent Conditional Monitoring) [RN4] et de la gestion technique pour l'évaluation, à travers des matrices d'indexes de performance, des performances des HGU (Hydroelectric Generating Units), composants particuliers des centrales hydroélectriques. Cette évaluation est basée à partir d'un **modèle processif** des flux d'énergies du HGU (Figure 23), sur le calcul des indexes afin de définir des performances économiques de ce système. Ces indexes qualitatifs sont vitaux pour l'estimation de l'état d'efficacité, le niveau de gestion de l'exploitation et l'état de maintenance de ces unités [RI6, CI24]. Une nouvelle stratégie en lien avec la maintenance, intitulée EBM (Economic performance Based Maintenance), a été ainsi proposée dont l'objectif majeur, comparé à d'autres stratégies, est de considérer la maintenance intégrée avec la production (au sens exécution) par la **performance économique**.

Cette contribution méthodologique à la gestion technique des systèmes industriels de production doit se poursuivre dans le cadre d'un post-doctorat [POD2].

$$E_i = \int_{t_1}^{t_2} g\rho H Q dt$$

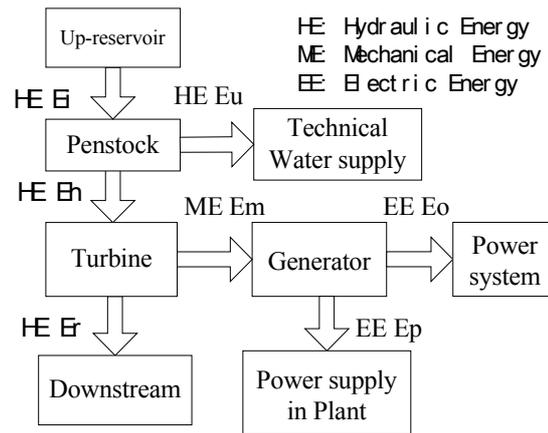


Figure 23: Modèle processif de transformation des flux d'un HGU

2.7 Automatisation de l'approche de modélisation des systèmes intégrés de contrôle, maintenance et gestion technique à base de composants interopérables

Pour répondre au besoin d'automatiser toute méthode de modélisation "définie", "observable" ou "optimisée" afin de réaliser des systèmes répondant aux critères de qualité requis, nous avons prototypé un outil support de notre démarche de modélisation. Cet outil, nommé PRIAM en relation avec le projet du même nom, met partiellement en œuvre d'un point de vue statique, la modélisation des processus de contrôle, maintenance et gestion technique puis leur intégration avec des **outils existants**, pour d'une part supporter la modélisation comportementale et la validation de chacun des processus, et d'autre part, la modélisation de l'intégration de ces processus.

L'intégration de ces outils est réalisée autour d'un référentiel unique mais **ouvert** qui est composé des différents modèles de référence permettant le partage des données communes (concepts communs): il s'agit donc d'une intégration faible où chaque outil conserve sa propre structure de données (Koechlin, 1990)⁴³. En d'autres termes, cet outil peut être vu comme un méta-outil "système" reposant sur un méta-modèle de nos systèmes qui doit assurer l'intégration des outils/méthodes relatifs aux savoir-faire "métiers" où chaque corps de métier peut mettre en œuvre une démarche (proche du cycle de vie "génie automatique (Frachet, 1987)) assurant le lien séquentiel entre les données d'entrées et les données de sortie du problème traité par ce métier. Cette démarche d'intégration est similaire aux approches mises en œuvre pour l'intégration de modèles de systèmes de production manufacturière par méta-modélisation (Bierel, 1998).

Nous avons donc spécifié, autour du modèle du référentiel commun (Figure 24), l'intégration des trois outils:

- l'outil PRIAM développé dans le cadre du projet PRIAM à partir des spécifications définies dans notre thèse et semi-formalisées dans la thèse de J.F. Pétin [TH1].

⁴³ J.B. Koechlin (1990), Logiciel ELEGA: première réalisation mettant en œuvre les travaux de base PTA, Productique et Intégrations, CIM: Intégration Aspects, Edition Teknea, pp 333-344, Marseille.

- un outil de description comportementale: l'outil SPEX⁴⁴ pour décrire le comportement de chaque fonction et de chaque processus sur la base des langages d'automatismes standards complétés dans nos travaux par le langage FBD (Diagramme de blocs fonctionnels) de la norme CEI 1131-3 pour supporter une description à base de blocs fonctions normalisés (type FCS). Ceci nous a amené à formaliser, relativement à notre domaine d'application de la production d'énergie, un ensemble de blocs propriétaires type EDF (a) de "niveau composant" décrits dans un format standard (type Structured Text) permettant de conserver à la description de ces fonctions propriétaires toutes leurs caractéristiques normatives (Travaux de DEA de Eric Neunreuther [DEA3]) et (b) de "niveau application" pour répondre aux besoins d'une centrale thermique (Travaux de DEA de Magali Ghetti [DEA6]). Cet outil permet aussi le test par validation de ces processus et systèmes sur la base d'un moteur d'exécution synchrone assurant le séquençage ou la synchronisation de l'exécution de chaque composant mais introduisant dans certains cas des "retards" non représentatifs de l'application et "nuisibles" au comportement global dans le cas de blocs "continus". Ceci nous a amené à explorer d'autres outils de représentation d'une dynamique (e.g. Matlab-Simulink) ou de combinaisons de ces outils avec SPEX (Travaux de DEA de Guillaume Payen [DEA2][C18]).
- un outil de modélisation d'un système d'informations: l'atelier de génie logiciel MEGA⁴⁵ support de la méthode MERISE et qui permet la modélisation fonctionnelle, organisationnelle et opérationnelle du traitement transactionnel, de la communication, et de la mémorisation d'un système d'informations ainsi que son implantation dans des SGBD⁴⁶.

A partir du développement du prototype, nous avons ensuite mené toute une phase de mise en œuvre applicative relativement aux cas de la plate forme IMS, de la plate forme de l'ENEL, ... qui nous a permis d'une part de démontrer la faisabilité de cet outil/méthode autour du référentiel commun mais aussi de convaincre en partie la communauté industrielle de l'utilité d'une telle démarche pour contribuer à la normalisation d'objets d'automatisation et ainsi de participer, en quelque sorte, à la promotion internationale du Génie Automatique (Lhoste, 1994).

⁴⁴ Produit de TNI <http://www.tni.fr>

⁴⁵ Produit de Mega International - Paris

⁴⁶ Systèmes de Gestion de Base de Données

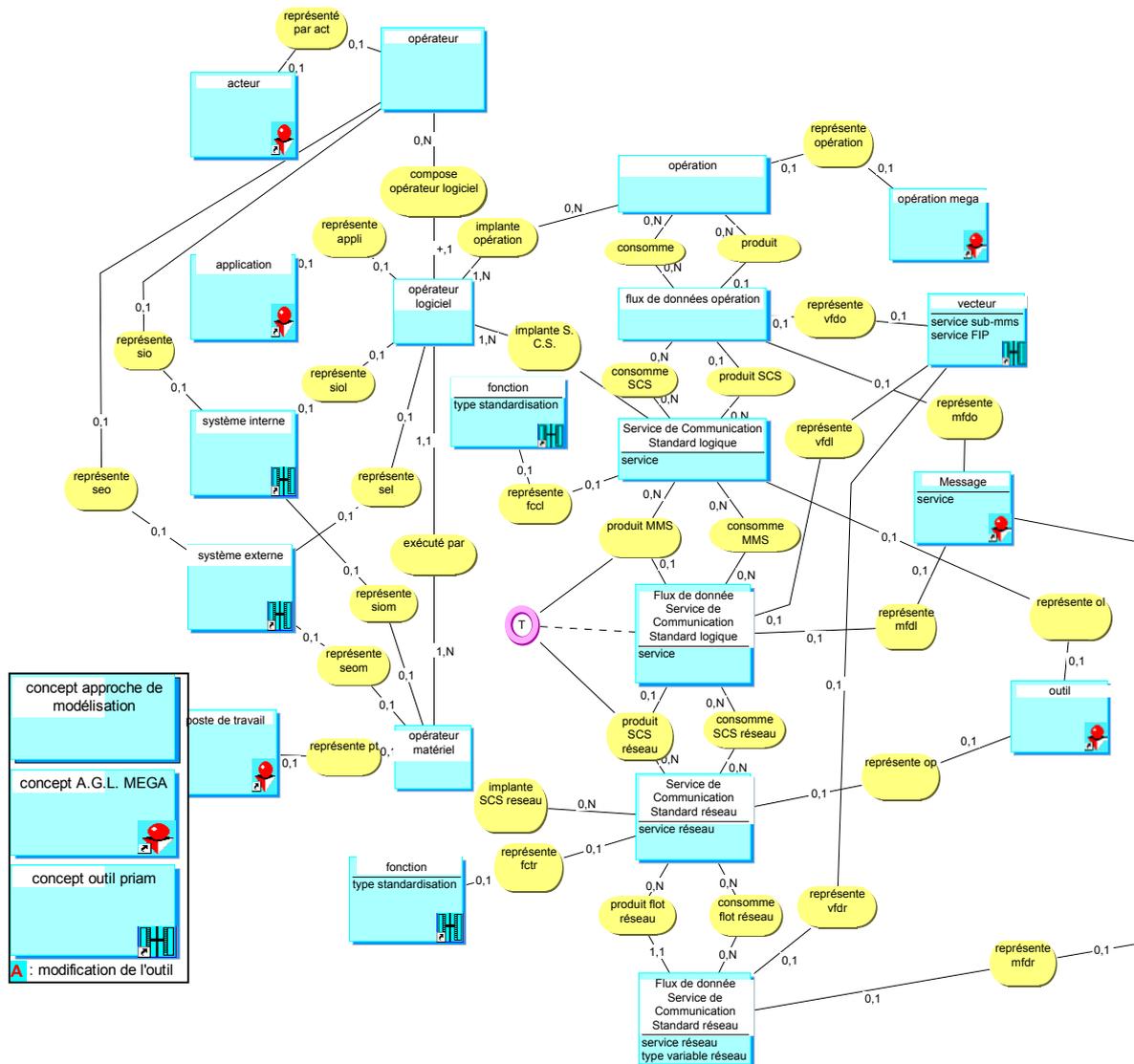


Figure 24: Modèle, en formalisme entité-association étendu, des concepts communs pour l'architecture applicative et technique de l'intégration de l'AGL Mega

3. Validation, par émulation, des modèles des systèmes intégrés à base de composants interopérables

Pour valider hors site (et **virtuellement**) l'automatisation distribuée de nos systèmes intégrés de contrôle, maintenance et gestion technique à base de composants interopérable, nous avons cherché à étendre à travers les travaux de [DRT1] les principes d'émulation de la Partie Opérative (Corbier, 1989), originellement dédiés aux automatismes centralisés, à l'émulation de **Parties Opératives Interopérables**, afin d'évaluer la conformité des nouvelles fonctionnalités de communication, de répartition des traitements et d'interchangeabilité des comportements, dévolues à ces automatismes distribués.

Cette émulation nous a conduit pour chaque composant intelligent à modéliser à la fois sa partie opérative (**Elément de Partie Opérative**) et sa partie traitement, stockage et communication de l'information. Le modèle de l'EPO est construit sur la base d'une représentation de la mécanique, de l'interaction avec le processus et de

l'interaction avec le produit. Ce modèle permet ainsi en fonction du degré de précision apporté aux différentes représentations de valider de façon "globale", la partie traitement (cas des modes de marche) ou de façon plus "précise" comme pour la détection en Maintenance des dégradations.

Sur la base de ces modèles, nous avons ensuite proposé un principe de validation de l'interopérabilité de classe B et C (Figure 25) de l'automatisme de nos processus en testant chacun des modèles de composants "intelligents" par rapport à l'application puis en substituant à ce modèle intégré dans le modèle simulé global, le composant réel lui-même (phases de tests différentes à base de scénarios identiques). Ce principe de validation est une application concrète du principe de simulation "hardware-in-the-loop" couramment utilisé dans les systèmes mécatroniques (Iserman, 1999). Cette substitution nous a amené, pour disposer d'un modèle du processus physique bien structuré permettant de séparer clairement les interactions entre les "transformations énergétiques" supportées par chacun des composants (tests de leur interchangeabilité) à utiliser la modélisation processive telle que développée au paragraphe 1.1. de ce chapitre. La mise en œuvre pratique de ces phases de validation a été réalisée sur la plate forme IMS avec l'outil Maxsim⁴⁴ qui est couplé via OPC (OLE for Process Control) au réseau de terrain et ainsi aux composants et équipements réels.

Cette proposition de validation est une étape dans une perspective de virtualisation globale à la fois, du produit, du processus opérant et de l'Automatisation qui serait validée hors ligne à travers une maquette avant son ultime vérification dans le monde réel.

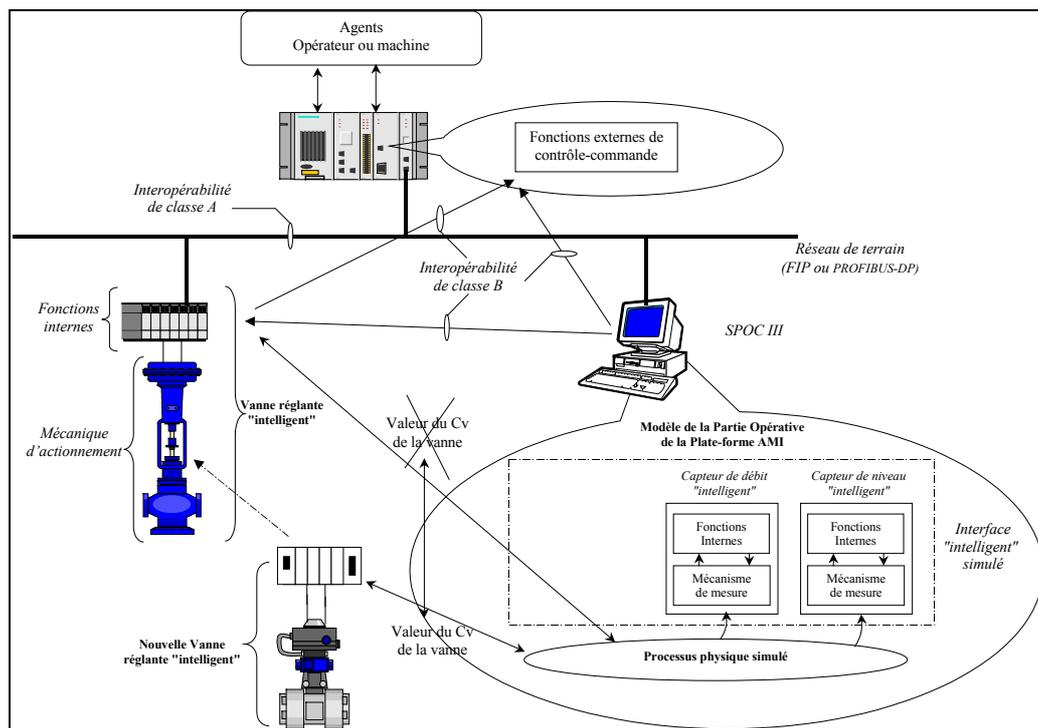


Figure 25: Validation, par simulation, de l'interopérabilité de classe C de l'application à base d'une émulation de Partie Opérative Interchangeable.

4. Modélisation du processus global de maîtrise de la qualité d'objets industriels selon l'approche normative ISO9000:2000

Pour maîtriser non pas uniquement la maintenance des processus relativement à leur sûreté de fonctionnement mais aussi les interactions produit-processus à travers l'ensemble de la chaîne de production pour l'optimisation globale de sa performance, nous avons mené, en partenariat avec Alstom Moteurs-Nancy, une formalisation de la méthodologie générique de maîtrise de la qualité d'un processus de production s'intégrant dans une démarche d'amélioration globale d'un système de management de la qualité. L'objectif d'une telle démarche est d'aboutir à la décentralisation des processus décisionnels de Maintenance/Qualité au plus près des unités de transformation des produits pour responsabiliser les opérateurs et minimiser les non-conformités de produits et leurs impacts entre transformations (maîtriser par unité le coût global de possession). Cette décentralisation correspond à une distribution de l'intelligence technique dans chacune des unités autonomes de production implantant au niveau terrain la boucle PDCA (Plan-Do-Check-Action) de (Deming, 1986) pour permettre aux opérateurs d'observer, de diagnostiquer mais aussi d'agir sur les processus afin d'anticiper au plus tôt les dysfonctionnements dont indirectement les dérives de la qualité (Travaux similaires en cours dans le cadre du DRT de Melle Estelle Nicchi avec la société Innothera [DRT2] dans le domaine de la production de textile).

En ce sens, les travaux que nous avons menés dans le cadre des DEAs de M. Della [DEA10] et C. Ramseyer [DEA 11] ont eu pour objet de proposer, par une approche orientée processus, une formalisation, à base du langage Unifié de Modélisation UML, du processus global de maîtrise de la qualité d'objets industriels selon l'approche normative ISO9000:2000 en y intégrant les méthodes métiers de la maintenance/qualité [CI23, CI28]. Le premier résultat de cette formalisation, est un méta modèle de l'approche processus de production (Figure 26) basé sur les exigences de la norme ISO9000:2000 qui assure la cohérence avec le système qualité en général et qui intègre de la sémantique "métier" sous la forme de "modelling constructs" de type normes de maintenance pour l'identification des actions correctives et préventives, concepts de la méthode des 5M pour la généralisation des causes de non-conformité, ...

Ce méta-modèle permet par un partage **d'objets communs** (e.g. concepts de "cause", "d'effet", "d'action") une **intégration faible** avec des outils/méthodes qualité-maintenance que nous avons aussi modélisés comme l'AMDEC, l'Analyse Préliminaire des Risques, l'Arbre des Défaillances, le Poka Yoké, ... A partir de ce méta-modèle, nous avons ensuite, par instantiation, formalisé un modèle partiel de la classe de produits moteurs de l'ALSTOM qui est considéré comme un modèle de référence particularisable à tous types de moteurs fabriqués à Alstom Nancy. Le modèle issu de cette particularisation représente toute la connaissance nécessaire pour développer, dans les unités, les activités d'observation, de diagnostic et d'action des processus décisionnels.

Cette démarche de méta-modélisation, d'instantiation et de particularisation, est supporté par un prototype logiciel [DEA11] préfigurant un futur Atelier de Génie de la Qualité, et dont l'efficacité a déjà été évaluée au cas de la ligne de fabrication des rotors Alstom.

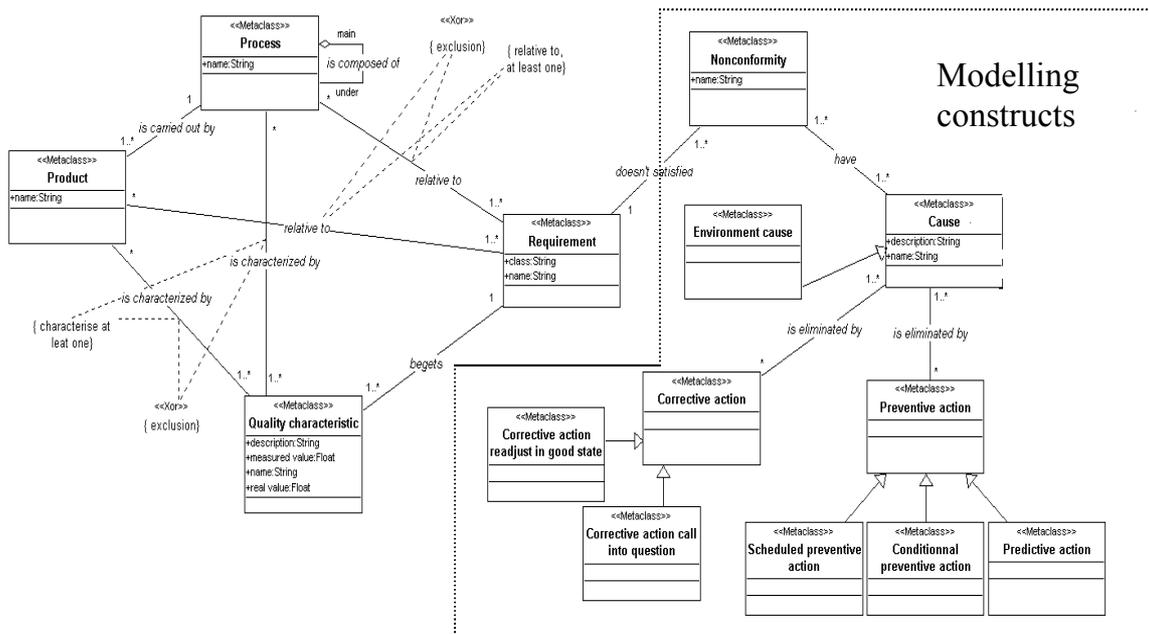


Figure 26: Extrait du méta-modèle, en formalisme UML, de l'approche processus

Sur cette base méthodologique, à titre plus prospectif, l'objet des travaux de DEA de S. Deeb [DEA12] (étudiant syrien possédant déjà une bourse de thèse par son pays) est de conférer directement au produit (et non plus uniquement aux unités processus) une intelligence technique représentative de son cycle de vie (caractéristiques, suivi, ...) pour pallier les défauts de désynchronisation entre les flux physique et logique aux endroits et instants de la transformation (produit "intelligent").

5. Modélisation, à base du paradigme de systèmes multi-agents, d'un processus de maintenance prévisionnelle collaborative

Les premiers travaux que nous avons menés sur les systèmes intelligents de production, ont eu pour objet de contribuer à la modélisation du processus de maintenance prévisionnelle collaborative (e-maintenance) considéré comme un processus communiquant et intégré de l'Entreprise, par la formalisation et l'expérimentation de nouveaux paradigmes d'organisation industrielle issus de l'IAD (Intelligence Artificielle Distribuée) comme les systèmes multi-agents [RI7].

L'objectif est, dans un contexte d'automatisation où la contrainte temps réel de l'application est forte, d'éprouver et de démontrer l'applicabilité et l'efficacité industrielle de ces nouveaux paradigmes (valeur ajoutée par rapport aux approches plus conventionnelles) pour supporter une maintenance collaborative basée sur l'événementiel de dégradation au travers principalement de processus autonomes et coopérants de surveillance, diagnostic et pronostic. Relativement à cet objectif, notre contexte d'étude s'est restreint dans un premier temps, aux dégradations "lentes" où le temps de détection de la dégradation permet de réagir avant qu'il y ait défaillance.

Ces travaux de modélisation étant une contribution aux deux premiers niveaux "process" et "organisation" de la complexité organisationnelle proposés par (Zaremba et Morel, 2003), ils se situent ainsi, d'une part, au niveau "exécution" de

l'Entreprise pour conférer aux composants physiques des capacités d'autonomie et de coopération plus importants relativement à la fonction qu'ils assurent et, d'autre part, au niveau "expertise" pour que, sur la base de la situation dégradée du système résultant des fonctions non totalement assurées, soient proposées, à distance, par négociation entre les experts concernés, les décisions à prendre pour maintenir le service du système relativement à la stratégie de l'Entreprise (concept de e-maintenance)⁴⁷.

Par rapport à la dimension de complexité processus (niveau exécution), nous avons à travers les travaux initiaux de [TH3] développés de façon plus conséquente dans le DEA de E. Muhl [DEA8], modélisé sur la base du méta modèle Aalaadin proposé par Ferber pour les MAS, un système intelligent de Maintenance Prévisionnelle de niveau terrain, construit sur la co-opération d'agents autonomes de surveillance et diagnostic de dégradation. Sur la base de ce méta-modèle, les modèles fonctionnels et organisationnels du système intelligent de maintenance, fondées sur l'identification et l'interaction des agents (rattachés au flux et processus; voir § 2.5) ont été prototypées sur la plate forme MADKIT⁴⁸ (Multi-Agents Development Kit; agents JAVA) puis validés (processus joueurs) au cas de la plate forme IMS, pour des cas de dégradation bien précis (type, fréquence, ...) [CI14, CI18]. Nous avons ensuite développé, à partir du modèle organisationnel, un modèle opérationnel pour la plate forme réelle (automates, réseaux de terrain, ...) en réalisant une portabilité sous la forme de traduction à la fois du comportement des agents "métier" (Java vers langage CEI1131-3) et des agents de communication (Java vers "modèle producteur-consommateur" de FIP). Ces traductions ont eu pour conséquence une perte de sémantique et d'adaptabilité ("rigidité" du langage d'implantation) qui n'a pas permis de valider le critère d'efficacité opérationnelle de ce système sur notre plate forme IMS.

Par rapport à la dimension de complexité processus et organisation (voire inter-organisation), nous avons à travers les travaux de DEA de N. El Mortada [DEA9] [CI21] proposé une première modélisation, toujours à base du méta-modèle Aalaadin, du processus de e-service et plus précisément e-maintenance pour maintenir à distance le service de la plate forme IMS (comment à partir d'une situation dégradée du système, des experts à distance peuvent proposer à l'opérateur sur site après négociation, la "meilleure" action à faire pour conserver le service?). Ce processus est construit sur la co-opération des agents "automatisés" de niveau exécution (surveillance, diagnostic) avec des experts humains de niveau gestion en utilisant un principe d'agent négociateur. Chaque agent ou expert est à considérer comme un centre de décision indépendant, avec des objectifs propres voire contradictoires par rapport aux autres et possédant des modèles de sa connaissance [CI22] pour émettre ou valider des propositions d'actions (agents de pronostic) relativement à l'observation d'une dégradation. La faisabilité du processus collaboratif implantant le protocole "contract net" (Kraus et al., 1995) a été validée sous l'outil MADKIT au cas du maintien de la qualité de service de la vanne Tout ou Rien. Une extension de ces travaux a été réalisée, sur 2001-2002, dans le cadre d'une coopération internationale avec l'Université de HUST à travers le post-doctorat de YU Ren [POD1] en proposant, (a) d'une part, pour faire converger plus rapidement les solutions (en résolvant les conflits d'objectifs) de mettre en œuvre un protocole de type "committee formation" (Winter, 1997) [CI26, CI27] (Figure 27) en y

⁴⁷ Workshop 2001 on "tether-free Technologies for e-Manufacturing, e-Maintenance & e-service"
<http://www.uwm.edu/CEAS//ims/>

⁴⁸ <http://www.lirmm.fr>

intégrant des raisonnements à base de cas CBR [CI29] (b) et d'autre part, d'ajouter une sémantique "service" par un calcul de coût global en fin de période de négociation tenant compte de critères d'intérêt de type économique, disponibilité, sécurité évalués pour chaque proposition. Un prototype intitulé POMAES (Problem Oriented Multi-Agent based E-service System)⁴⁹ a été développé sur le principe des "Java Applet Application" qui permet à un expert (quelconque) à distance de "se configurer" facilement pour participer à la prise de décision. Il est en cours de test en connexion directe avec les bases de données réelles de la plate forme. D'un point de vue faisabilité et efficacité, les résultats sont prometteurs mais dans un contexte d'hypothèses encore trop restreint pour généraliser ces résultats surtout en garantissant que la dynamique des agents est toujours cohérente et convergente (prouver formellement la dynamique de l'interaction et du résultat émergent).

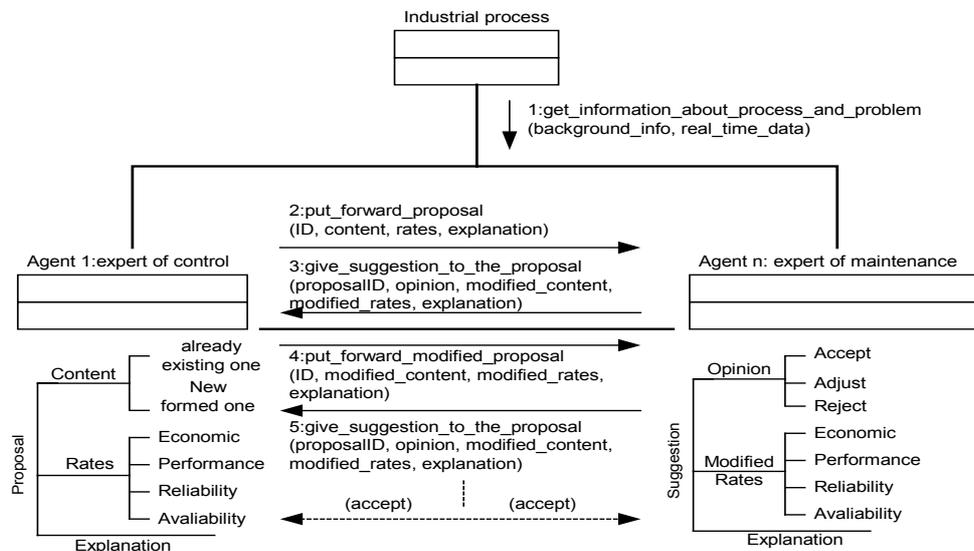


Figure 27: Protocole de négociation entre experts de maintenance

Globalement cette activité de recherche autour du concept d'une nouvelle forme d'organisation du processus de maintenance dans le processus entreprise peut se synthétiser sous le vocable "Maintenance Prévisionnelle des Systèmes Intelligents de Production" qui constitue depuis 1998 notre problématique essentielle de recherche.

En effet sur la base des résultats de nos recherches en général et des nouvelles problématiques s'y référant, a été décidé collectivement sur l'initiative du Pr. G. Morel dans un souci d'efficacité et d'une meilleure identification de chacun des acteurs:

- de confier à J.F. Pétrin (depuis sa nomination en tant que Maître de conférences) la poursuite des travaux sur l'automatisation du processus de contrôle en déployant des méthodes formelles (langage B) pour, entre autres, **vérifier** des propriétés d'opérationnalité des architectures distribuées. Ces travaux qui ont fait l'objet de la thèse de (Lamboley, 2001) ont été et sont encore réalisés dans le cadre de partenariats avec l'EDF/DER de Chatou (poursuite des contrats antérieurs) et l'IFAK (Allemagne). A ce jour, une extension de ces travaux vers la définition des fondements scientifiques de l'e-

⁴⁹ Report of the research about MAS-based E-service for Maintenance. Ren YU – Post-Doc report – 06/05/2002

automation fait l'objet d'une proposition d'AS (Action Spécifique) dont J.F. Pétin est un des co-ordinateurs.

- de nous confier la poursuite des travaux sur l'automatisation du processus de Maintenance (et plus précisément de Maintenance Prévisionnelle vs e-maintenance) à base de composants intelligents. En effet les problématiques relatives à ce domaine de recherche, issues des contrats, projets et participations à des groupes scientifiques, mais aussi les ressources matérielles (plate forme IMS, suite TEMIIS – CASIP, ...), et humaines impliquées (Thèse, Post-Doc, DEA) ont mis en évidence la nécessité de faire de ce sujet un sujet à part entière pour en proposer une structuration cohérente nécessaire à son déploiement scientifique et organisationnel.

Ainsi cette action de recherche en "Maintenance Prévisionnelle des Systèmes Intelligents de Production" a constitué, entre 2000 et juin 2002, une des problématiques de l'action 1 "Optimisation des processus décisionnels en Maintenance" du thème CSSF (projet "Sûreté de Fonctionnement des Systèmes Industriels") complétant la problématique d'évaluation de propriétés de sûreté de fonctionnement d'un système par modélisation de connaissances à base de Réseaux Bayésiens traitée dans les activités de recherche de Marie Christine Suhner et de Philippe Weber.

La complémentarité de ces deux problématiques a été validée à travers des travaux communs publiés en [INV5, CI22] relatifs à la modélisation de systèmes d'aide à la décision (Figure 28) pour maintenir la qualité de service rendue par les processus opérants. Compte tenu des premiers résultats, cette action a été proposée début juin 2002 comme un nouveau projet du CRAN au sein du thème CSSF qui est intitulé "Processus décisionnel en maintenance pour la maîtrise de la sûreté et de la productivité".

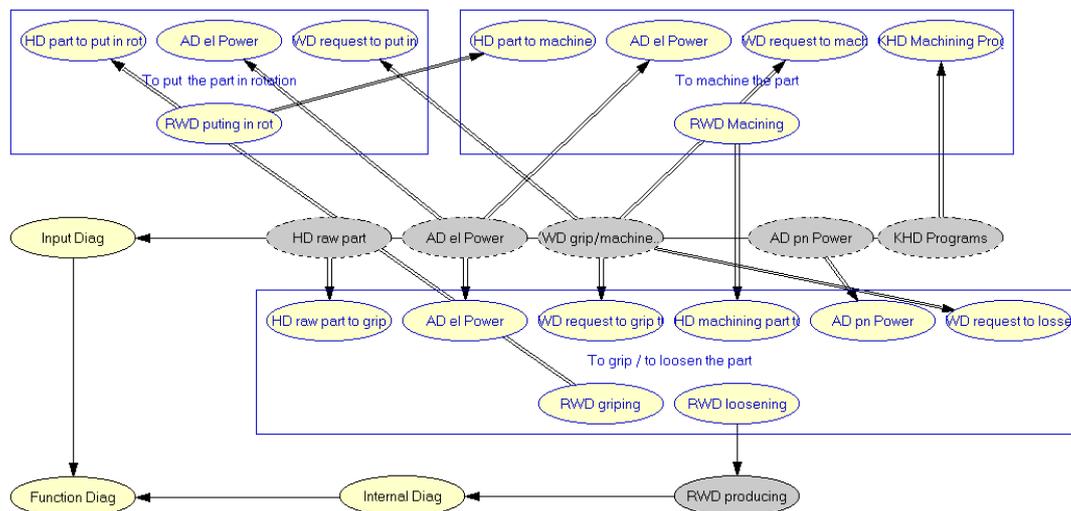


Figure 28: Modèle, à base de réseaux bayésiens, d'aide au diagnostic et au pronostic du processus "Transformer sur le tour" [CI22]

Au sein de ce projet, notre activité de recherche plus personnelle se construit, en référence aux problématiques scientifiques du RTP "Fiabilité, Diagnostic et Tolérance aux fautes des systèmes complexes" proposé par M. Staroswiecki, autour de 3 points durs scientifiques complémentaires [INV4, INV5]:

- la formalisation du processus de maintenance en tant que processus d'Entreprise contribuant au processus global de maîtrise de la qualité de service d'objets industriels (contribution à la résolution du compromis sûreté – productivité),
- la formalisation du processus particulier de maintenance prévisionnelle plus à même d'assurer cette dynamique en offrant à l'opérateur, à base **d'un pronostic de dégradation**, une aide à la décision plus efficace (contribution à la modélisation des dégradations et des déviations non seulement sur des propriétés morphologiques mais aussi temporelles et spatiales).
- la formalisation de nouveaux paradigmes d'organisation issus de l'IAD pour supporter, consécutivement à une distribution de l'intelligence technique, ce processus de maintenance prévisionnelle à base de nouvelles architectures de maintenance (**concept de e-maintenance, e-pronostic**) dont la finalité émerge par co-opération d'activités autonomes (contribution à une méthode de modélisation "optimisée"; voir chapitre I): contribution à l'auto organisation voire au nomadisme; garantie de la dynamique de l'interaction et de la convergence, ... Un de nos objectifs est par exemple d'éprouver le concept d'agent mobile au processus de pronostic (agent non sédentaire de pronostic) (Travail de DEA de F. Cordary [DEA13]) doté de capacités propres, de modèles de connaissance, de capacités d'auto-apprentissage, ... pour converger encore plus rapidement vers une solution tout en offrant une plus grande adaptabilité.

Au niveau international, ces points durs sont pris en compte dans les challenges scientifiques principalement en e-maintenance ("Future Technological Needs and Research Directions") identifiés par:

- l'IMS en tant qu'initiative internationale en Intelligent Manufacturing Systems dans le "Grand challenge 3" et "Grand challenge 5" du "Visionary Manufacturing Challenges"⁵⁰,
- l'IMS en tant que centre de compétences mondiales en Intelligent Maintenance Systems (responsabilité J. Lee) dans les sessions "e-manufacturing" et "e-maintenance" du dernier workshop 2001 on "tether-free Technologies for e-Manufacturing, e-Maintenance & e-service"⁵¹.

⁵⁰ <http://www.ims.org>; Adopted for discussion from "Visionary Manufacturing Challenges for 2020," Committee on Visionary Manufacturing Challenges, Board on Manufacturing and Engineering Design, Commission on Engineering and Technical Systems, National Research Council, National Academy Press, Washington, D.C. 1998

⁵¹ <http://www.uwm.edu/CEAS/ims/>

The core activities of the IMS Centre are concentrated on bringing about innovations on wireless and web-enabled predictive maintenance technologies, including intelligent machine degradation assessment methodologies, e-prognostics, and e-diagnostics to enable manufacturers and customers to have products and machines with near-zero-breakdown conditions.

IV. Programme de recherche en processus décisionnel en maintenance

Les résultats obtenus⁵² dans l'action 1 "Optimisation des processus décisionnels en Maintenance" du projet "Sûreté de Fonctionnement des Systèmes Industriels" du thème CSSF, ont amené le CRAN à proposer aux membres de cette action de se restructurer, depuis juin 2002, en un projet de recherche pour la fin de la période quadriennale 2000-2003. Ce projet que nous animons, intitulé "Processus décisionnel en maintenance pour la maîtrise de la sûreté et de la productivité", a comme objectif de contribuer à la maîtrise de la qualité de service du produit et des processus mis en œuvre pour sa production afin d'optimiser globalement leur performance. Pour ce programme de recherche, nous souhaitons conserver l'originalité de notre démarche de travail basée sur des coopérations industrielles et scientifiques fortes, et qui s'est avérée fructueuse sur le plan des résultats et particulièrement motivante pour les chercheurs. En ce sens, les recherches à mener dans ce projet ont principalement pour objet de conforter une rationalisation de résultats de R&D pour l'industrie par la formalisation de leurs fondements scientifiques. Elles s'appuieront ainsi sur une exploitation efficace vs originale (voire une extension après les avoir éprouvés) des modèles et méthodes connus dans différents domaines de l'automatique (au sens large). Elles peuvent également susciter une recherche et une appropriation de modèles et méthodes, langages et outils connus dans d'autres domaines, en implantant les modalités de leur adaptation lorsque l'arsenal traditionnel se révélera insuffisant. Elles nécessitent en tous cas une veille permanente dans tous ces domaines. Il est bien évident que la plupart des partenariats, matérialisant cette nécessaire coopération industrielle et scientifique, pour cette fin de période quadriennale sont encore à définir mais néanmoins, un certain nombre d'entre eux ont déjà été acceptés ou sont encore en cours de soumission (la partie nous concernant est recensée dans le chapitre II). Ce programme de recherche, développé ci-après, est construit sur la forme d'un synopsis de projet CRAN tel qu'il est présenté dans le rapport d'activités scientifiques du CRAN en vue de son évaluation par le CNRS.

1. Liste des participants du projet

Permanents (mi-septembre 2002):

Co-ordinateur: B. Lung (MdC)

E. Levrat (MdC), G. Morel (Pr), M.C. Suhner (MdC), P. Weber (MdC).

Non-permanents (mi-septembre 2002):

A. Voisin (MdC), A. Muller (Th), L. Cerisier (Th), F. Cordary (Dea), S. Deeb (Dea), E. Nicchi (Drt).

⁵² Chapitre 7 "Conception de Systèmes Sûrs de Fonctionnement" – rapport d'activités scientifiques du CRAN – période 1996-1999 et 2000-2001.

2. Présentation générale, objectifs, action et méthode de travail

Problématique Scientifique

A l'ère du déploiement des nouvelles technologies de l'information et de la communication, l'un des enjeux majeurs de l'Entreprise d'aujourd'hui dite Etendue (Brown et al. 1995) est d'adapter **dynamiquement** son offre de produits (biens ou service) en fonction du nouveau comportement des consommateurs qui révèle une demande de plus en plus personnalisée et génératrice de concurrence. En ce sens, l'entreprise se doit de garantir non seulement pour le produit le triptyque coût-délai-qualité prôné depuis des années mais aussi la qualité des services qu'il rend et ceci tout au long de **son cycle de vie** et quel que soit l'**endroit** où le produit est situé (Bringing the Users to the centre of our attention⁵³).

En effet, le consommateur n'attend pas uniquement de la part du fabricant un "bon" produit mais aussi une haute qualité et efficacité dans le service qu'il rend et pour lequel il a été fabriqué (Küssel et al., 2000). La maintenance est ainsi devenue un processus d'entreprise extrêmement important relativement à la problématique d'automatisation des procédés de production, pour (a) maintenir au cœur même des processus de production, la productivité du système tout en respectant les contraintes de sûreté (par exemple les objectifs de production et de maintenance sont apparemment contradictoires) (Noyes et Pérès, 1999) (Coudert, 2000) (Swanso, 2001), et (b) maintenir, au cœur même du cycle de vie du produit, la qualité des services qui lui sont associés (Lee, 1998).

*Les enjeux socio-économiques croissants liés aux impératifs de sécurité des hommes et des matériels, aux exigences de protection de l'environnement et de réduction des nuisances, et aux gains de productivité sur **des systèmes de plus en plus complexes** placent les **problèmes de maintenance** au centre des préoccupations sur l'optimisation des processus industriels⁵⁴.*

Dans ce contexte la maintenance et plus précisément ces nouvelles formes de type prévisionnelle et coopérative, est à considérer comme un levier d'action potentiel sur la performance globale⁵⁵ se déclinant sur un cycle de vie de système comme un juste compromis entre pertinence, efficacité et efficacité.

Ainsi, la mesure d'une réalité socio-technique (satisfaction de l'utilisateur et fiabilisation du produit par retour d'expérience, ...), l'élaboration de processus de maintenance non seulement corrective et préventive mais aussi prévisionnelle (pronostic, diagnostic, surveillance de dégradations), l'intégration des processus, l'aide à la décision pour optimiser des stratégies de pré-production (conception), production et post-production (livraison, dépannage) en accord avec la stratégie d'Entreprise (prise en compte de l'environnement, des perturbations, ...), constituent autant de verrous scientifiques et techniques à résoudre pour contribuer à l'automatisation de cette relation consommateur – vendeur.

⁵³ Information Society Technologies In the 6th Framework Programme: Context, rationale, content of IST in FP6. Survey Presentation. IST2002. November 2002. Copenhagen.

⁵⁴ Proposition de projets Sûreté – Surveillance – Supervision: S3. Christophe Berenguer, Didier Maquin, Qinghua Zhang. 2001.

⁵⁵ Proposition d'une Action Spécifique intitulée "Maintenance Coopérative pour la Performance Globale" sur l'initiative de O. Senechal et N. Zerhouni et dans le cadre du RTP n°47 Production Coopérative Médiatisée.

Objectif de recherche

Pour contribuer à cette automatisation, ce projet a pour objectif d'appliquer des modèles et méthodes pour la spécification, la conception et l'implantation, en tant que processus d'Entreprise, du processus décisionnel en Maintenance (de la production) pour une meilleure maîtrise du compromis productivité – sûreté. Le processus décisionnel en Maintenance repose sur:

- la mesure d'une "réalité",
- le contrôle et l'évaluation des objectifs fixés (principalement par rapport aux critères de productivité, de sûreté),
- et la prise de décision.

... aussi bien en pré-production (optimisation des paramètres de SdF du produit/processus opérant), production (anticipation des défaillances du processus opérant, des dérives qualités du produit) que post-production (exploitation du REX pour un retour en conception du produit/processus opérant, un changement de politique de maintenance).

Notre challenge scientifique est ainsi d'apporter des solutions à l'enjeu de la maîtrise du compromis productivité – sûreté en cherchant:

- à augmenter la disponibilité du processus opérant: vers des maintenances de type "juste à temps" (CBM: Condition-Based Maintenance) (ISO/TC108/SC5) voire une e-maintenance et non plus systématiques pour tenir compte d'une situation réelle afin de réduire les arrêts inutiles ou de réduire la durée de ceux nécessaires,
- à améliorer la qualité de la production: vers une plus grande maîtrise de paramètres de Sûreté de Fonctionnement (et de leurs variations) vis à vis de leur impact sur le processus et par voie de conséquence sur la non-conformité des exigences qualité produit.

Par rapport à cet objectif de recherche dans le domaine de la sûreté de fonctionnement et de la production, notre projet en cohérence avec des problématiques du RTP 20: fiabilité, diagnostic et tolérance aux fautes des systèmes complexes, se distingue de travaux plus classiques du diagnostic (tels que ceux réalisés dans le projet "Surveillance et Détection de Défauts" du CRAN), sur 3 points principaux:

- un principe de "finalité" relativement à l'Entreprise puisque le processus décisionnel en Maintenance est considéré comme contribuant à l'objectif du processus d'Entreprise (satisfaire à la qualité de service des produits),
- un principe de "complexité" puisque le champ d'applications d'où sont extraits ces verrous industriels sont des systèmes complexes de type centrale hydroélectrique, ligne de fabrication moteur, ... impliquant que le processus décisionnel en Maintenance ne portent pas uniquement sur les niveaux composants élémentaires (données, information) de type processus opérants mais aussi sur l'interaction de ces composants relativement au niveau fonctionnel voire procédé (connaissance) du système complexe (*pour des systèmes très complexes, le coût d'obtention de modèles analytiques est prohibitif*⁵⁴...).
- un principe "de concept" puisque le processus décisionnel en Maintenance peut porter sur des systèmes non existants vis à vis de choix de stratégies en conception.

Action de recherche

En cohérence avec l'objectif de recherche préalablement exposé, et pour cette période probatoire contractualisée de 2002-2003 (évaluation du CRAN par le CNRS fin 2003) où une concentration des forces est nécessaire afin de démontrer la pertinence et la validité scientifique de notre projet, nous avons initié une seule action de recherche. Elle a pour objet de développer, pour un contexte d'application restreint à la représentation de dégradation à rapidité de manifestation progressive, des modèles de "dégradations" d'un système et de leurs conséquences, par combinaison d'approches probabilistes et événementielles puis de modéliser les principes de leurs mises en œuvre, au sein de nouveaux systèmes intelligents de production (collaboration entre processus), pour proposer des outils innovants d'aide à la décision comme le **pronostic**⁵⁶.

Cette combinaison d'approches peut s'appuyer sur des "outils/méthodes" déjà utilisées par les membres du projet comme les réseaux bayésiens, les logiques de type modale, temporelles, floue, ... (Figure 29)

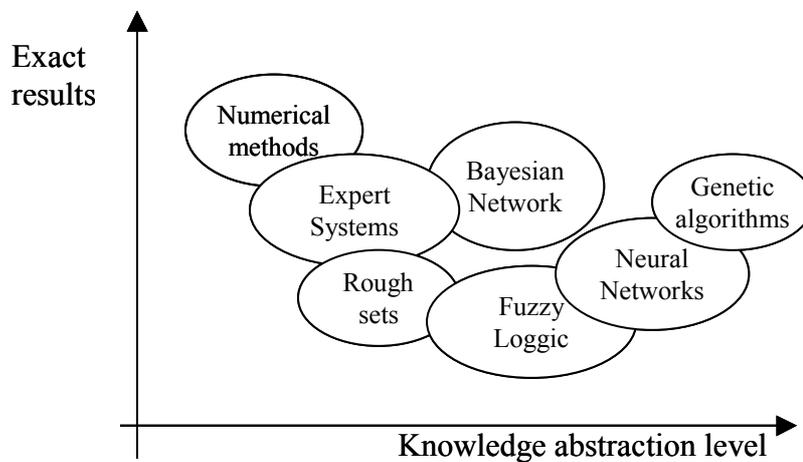


Figure 29: Techniques for intelligent systems (Zaremba et Morel, 2003)

L'intérêt de combiner des approches probabilistes et événementielles est de disposer de modèles plus **réalistes** de la dégradation intégrant la dynamique de comportement et permettant normalement de minimiser l'erreur dans le pronostic de la situation future (écart entre la valeur estimée et la valeur réelle). En effet, sur la base d'une identification de l'origine de la dégradation (diagnostic explicatif), la propagation, dans les modèles, de ses conséquences a pour objet la construction d'un état potentiel futur du système (en fonction de différents indicateurs de performances), étape préliminaire vitale pour une prise de décision (en fonction de différentes stratégies) et sa mise en œuvre (Combacau, 1998).

⁵⁶ *Processus permettant de détecter précocement une dégradation sur un composant ou un sous système, et de trouver les moyens d'en prédire l'évolution jusqu'à la défaillance.* Hess, A. et al. USN Development Strategy, Fault Testing Results, and Future Plans for Diagnostics, Prognostics and Health Management of Helicopter Drive Train Systems, Proceedings of the International Conference on Health and Usage Monitoring, Melbourne, February 19-20, 2001.
Estimation du temps jusqu'à la défaillance et du risque d'un ou de plusieurs autres modes de défaillance existants ou à venir. ISO/TC108/SC5/WG5

En ce sens, à l'instar de la proposition de (Byington et al., 2001)⁵⁷ *Inherently probabilistic or uncertain in nature, prognostics can be applied to system/component failure modes governed by material condition or by **functional loss***, notre contribution à la modélisation de ce processus de pronostic pour être complémentaire aux travaux déjà existants comme sur le Prognostic Watchdog Agent⁴⁷, l'architecture IDPS (Integrated Diagnostic and Prognostic System)⁵⁸, ou encore l'architecture MPROS (Machinery Prognostics/Diagnostics System)⁵⁹ a pour objectif de se focaliser:

- non pas prioritairement sur l'identification des influences des évolutions de la dégradation (préalablement détectée) du composant sur le composant en lui-même (**estimation** du temps avant défaillance, durée de vie restante; critère principalement fiabiliste),
- mais plutôt sur **les flux produits** par le composant pour (a) propager la dégradation entre les composants (complexité croissante) et à différents niveaux d'abstraction afin d'identifier les conséquences de cette dégradation sur la finalité future du système global et du produit (et de ses différentes performances) puis (b) d'évaluer les **risques** (coût, disponibilité, sécurité, ...) associés à chaque scénario de maintenance (stratégie) à mettre en oeuvre pour confiner voire "contrer" la dégradation en regard de la finalité à maintenir.

Dans ce dernier cas, l'identification des conséquences élaborée par le processus de pronostic est un raisonnement déductif déterminant les évolutions (et leurs impacts) sur les propriétés des flux et objets à partir de l'identification de la dégradation et de son comportement. Ce raisonnement nécessite de disposer de modèles de dépendance du système (basés sur des relations causales), principe déjà utilisé dans le cadre de la sécurité opérationnelle (Niel, 1994) et de nos anciens travaux (dualité fonctionnement-dysfonctionnement), à différents niveaux d'abstraction (indépendant et dépendant des moyens de production) avec des mécanismes de "reconstruction sémantique" des conséquences entre les différents niveaux (relier les effets de la dégradation d'un composant avec les effets sur les flux de la fonction à laquelle il contribue).

Une première contribution à cette démarche pronostic construite sur la complémentarité des approches probabilistes et événementielles, fait l'objet actuellement du travail initial de thèse de A. Muller [TH5], qui consiste, sur la base des propositions de (Jardine et al, 2001) autour du PHM (Proportional Hazards Modeling) faites en contexte de défaillance, de mettre au point des **modèles de performances réalistes** pour le niveau composant de la plate forme IMS en cherchant à lier les **événements de dégradation et l'évolution de paramètres significatifs**. Le développement de ces modèles, par exemple au niveau d'un composant existant, repose:

- à partir des données du fonctionnement global de la plate forme et de leurs formalisations (Knowledge Management) (Demarest, 1997) et de la connaissance "métier" sur ces composants formalisée entre autres dans des

⁵⁷ Byington, C., Roemer M., Galie T., *Prognostic Enhancements to Diagnostic Systems for Improved Condition-Based Maintenance*, In Proceedings of the 2002 IEEE Aerospace Conference, Big Sky, MT, March 2002

⁵⁸ Mathur, A. et al. *Reasoning and Modeling Systems in Diagnosis and Prognosis*. In Proceedings of the SPIE Aerosense Conference, Orlando, FL, April 16-20, 2001

⁵⁹ Hadden, G.D., Bergstrom, P., Bennett, B.H., Vachtsevanos, G.J., and Van Dyke, J., *Distributed Multi-Algorithm Diagnostics and Prognostics for US Navy Ships*. In Proceedings of the 2002 AAAI Spring Symposium

modules de surveillance de filtres de comportement (Lhoste, 1985), à "identifier" (e.g. datamining), par rapport aux événements de dégradation observés (à des instants précis) des variables dont les variations de valeurs sont corrélées à ces événements et qui ont un impact sur les paramètres significatifs du composant (estimation des paramètres, formalisation par réseaux bayésiens des relations et des incidences entre les variables et les modes de dégradation, ...). Cette corrélation des différentes variables est potentiellement différente pour chaque mode de dégradation dans chaque mode de fonctionnement.

- à partir des variables et des relations d'incidence, à développer pour chaque mode, un modèle de dégradation du composant de la forme, $MTBF = f(\text{Temps}, \text{indicateur}_1, \dots, \text{indicateur}_n)$ qui correspond, dans ce cas, à une pondération de la loi de fiabilité classique (loi de Weibull) relativement aux variables (couplage de la fiabilité avec d'autres paramètres).
- à mettre en œuvre au sein d'une architecture interopérable voire intelligente des processus de surveillance et diagnostic (de dégradation) adéquats sur chacune des variables afin par un suivi dynamique (intégration du temps), d'une part, de détecter dans quel mode de dégradation est le composant (afin de prendre le "bon" modèle pour le pronostic), et d'autre part, d'adapter si nécessaire ce modèle de dégradation (modification des relations de pondération).
- la réalisation, par rapport au modèle de dégradation retenu, d'un pronostic (estimation d'un état futur du composant sur un critère de fiabilité mais aussi de performances) à partir de l'état actuel du système et des probabilités d'évolution (e.g. dérivée) des indicateurs relativement à la loi pour, par rapport à cet état futur projeté sur différentes stratégies de maintenance en priorité de coût, de disponibilité, ... de prendre la décision la plus adaptée.

A partir de cette modélisation de niveau composant, notre objectif de recherche est ensuite, pour prendre en compte la complexité des niveaux procédés et finalité produit (complexité dans l'interaction entre composants, entre fonctions du procédé mises en œuvre par ces composants, ...), à formaliser des modèles de dépendance du système impliquant la sélection d'autres variables, la modélisation d'autres modèles de dégradations sur d'autres critères que le MTBF, la mise en œuvre d'autres processus de surveillance, diagnostic et pronostic avec une évaluation des différents risques liés à chacune des stratégies de maintenance envisagée.

Méthode de travail

Pour mener à bien cette action de recherche (et plus globalement ce projet), avec des contraintes telles que la mise en commun d'approches issues de communautés différentes, la fédération de chercheurs et travaux préalablement isolés, la prise en compte d'une situation d'expérimentation à finalité réelle, nous avons décidé de mettre en place une "méthodologie de travail" déployée principalement autour d'une plate forme commune relativement au système cible et aux outils/méthodes à utiliser: la plate forme IMS (voir chapitre "Ressource expérimentale"). Dans une première phase, cette plate forme doit nous permettre de récupérer des informations de retour d'expérience pour construire des modèles de dégradations (e.g. composants) puis de mettre en œuvre, à travers une architecture collaborative, un suivi dynamique des dégradations pour adapter si nécessaire ces modèles. Compte tenu du nombre d'informations pertinentes dont nous devons disposer relativement aux différents

modes et situations de dégradation (niveau composant, niveau procédé), un de nos objectifs est **d'émuler** (Corbier, 1989) une partie du fonctionnement de la plate forme pour "exécuter" à vitesse "accélérée" et sans les risques (bris de matériel, évolution vers une situation dangereuse) des scénarios de fonctionnements dégradés (voir chapitre III).

En ce sens, la plate forme est un support concret à l'expérimentation, dans des situations proches de situations industrielles, de nos travaux pour juger de leur pertinence, efficience et efficacité ce qui doit permettre dans une seconde phase de la méthodologie de travail, de transformer toutes ces expérimentations en développement scientifique afin de formaliser les fondements scientifiques de notre démarche basée sur la combinaison des deux types d'approches.

3. Justification

Analyse de conjoncture

La sûreté de fonctionnement des systèmes industriels et des produits complexes pose dans la société actuelle des problèmes sensibles mis en évidence par un certain nombre d'événements récents. L'enjeu majeur est donc de continuer à satisfaire aux impératifs économiques (gains de productivité, ...) vitaux pour le développement de l'Entreprise en répondant prioritairement aux impératifs de sécurité des hommes, des matériels, de protection de l'environnement, primordiaux pour sa survie sociétal. La maintenance joue un rôle fondamental dans la réalisation de ce compromis en conservant une productivité tout en respectant les contraintes liées à la sûreté. Il s'avère donc nécessaire, face à des systèmes industriels de plus en plus complexes et évoluant dans des environnements contraignants, de développer de nouvelles approches de la maintenance basée sur une exploitation rationnelle de l'ensemble des informations disponibles (du retour d'expérience, de l'avis d'experts, de l'instrumentation, des modèles de fiabilité) pour répondre, plus dynamiquement, à cette double exigence.

Position du laboratoire

Le thème Maintenance n'est pas nouveau au CRAN puisqu'il a fait l'objet de nombreux travaux autour des modèles de maintenance "hors ligne" pour une optimisation a posteriori des paramètres coût/disponibilité d'un système, qui ont été initiés par Pr. Marc Gabriel au sein de l'ESSTIN et perpétués par des membres de son ancienne équipe comme Marie Christine Suhner. En recherche, les travaux autour de modèles "en ligne" pour une optimisation dynamique de ces paramètres initiés par Benoît lung et Gérard Morel [TH3, TH4] et a fortiori les travaux fédérant ces deux approches [INV5, CI22] au sein de ce projet peuvent être considérés comme **émergents**.

Cependant, la légitimité de ce projet émergent est assuré, entre autres, par une participation régulière de ses membres aux comités de programme des conférences LambdaMu, ESREL, Qualita, PENTOM, ... (relativement à la finalité Sûreté de Fonctionnement - Productivité) et IMS-Europe, IFAC-IMS, IFAC-Mechatronic, ... et prochainement IMS2003⁶⁰ (relativement à la finalité systèmes intelligents de maintenance).

⁶⁰ Conférence "Intelligent Maintenance System 2003", 25-27 October 2003, Xian (China), Chairmen: Pr Xie Youbai & Pr. Jay Lee

Cette reconnaissance sur cette double finalité vaut au projet, à travers ses membres, de participer:

- au comité technique "Mechatronic Systems" (contribution au système intelligent) et "Low Cost Automation" (contribution au processus de maintenance) de la société scientifique internationale IFAC,
- à la co-animation du GTR 27 "*Méthodes bayésiennes*" de l'*Institut de Sécurité de Fonctionnement* (institut qui est à ce jour en voie de restructuration importante),
- au réseau d'excellence Européen en IMS (n° IST-2001-65001) pour assurer la co-responsabilité du SIG2 (special interest group on Manufacturing scheduling and control in the extended enterprise) dont un des items de recherche concerne la modélisation du processus décisionnel en maintenance au sein du processus Entreprise,
- au réseau Sino-Européen CENNET (n° IST-2000-28739) sur le digital manufacturing and business et dont un des thèmes de travail est l'e-maintenance ...

... et d'avoir été sollicités

- par le Pr. N. Zerhouni (LAB) pour créer dans un premier temps au sein du club Génie Industriel un groupe de travail en "Ingénierie de Maintenance pour la performance globale" afin de fédérer au niveau Français l'ensemble des laboratoires travaillant dans ce domaine (LAB, LAG, CRAN, LGP, LAMIH, LM2S,...). Ce groupe est actif depuis mi-juin 2002 et a proposé, en Novembre 2002, au RTP 47: production coopérative médiatisée⁶¹) une AS intitulée **MACOPEG** (Maintenance COopérative pour la Performance Globale).
- par le Pr. F. Riane (Fucam, Belgique) pour déposer en juin 2002, une "Expression of Interest" (préfigurant le futur appel d'offre du 6^{ème} PCRD) intitulé "Intelligent Maintenance for Life Cycle Optimisation" (IMALCO) cherchant à fédérer au niveau européen, et sur une base forte franco-belge, des chercheurs travaillant sur l'ingénierie de la maintenance pour l'optimisation des performances produit/processus tout au long de leur cycle de vie. Sur cette base, un groupe de travail dont nous faisons partie, a pour objet depuis Novembre 2002, de rédiger la proposition finale de ce réseau d'excellence.
- par le Pr. Ruth Aylett (Université de Salford, UK) pour déposer en juin 2002, une "Expression of Interest" intitulé "Dynamics Organisation" cherchant à fédérer au niveau Européen, des chercheurs travaillant sur les nouvelles formes d'organisation pour la mise en œuvre des processus décisionnels au sein de l'Entreprise.

Ces participations et sollicitations doivent nourrir en retour les orientations des travaux de certains acteurs du projet.

Partenariat

Les membres associés à ce projet sont aussi impliqués dans des groupes de recherche ou de travail:

- au groupe SPSF (Systèmes de Productions Sûrs de Fonctionnement) du Groupement de Recherche en Productique GRP. Ce groupe est dénommé

⁶¹ Déclaration de politique scientifique des communautés Productique et Génie Industriel destinée à la MSU et au DSTIC du CNRS. J.P. Bourrières, J. Erschler, P. Ladet (10 juin 2002).

- depuis fin 2001: AS2F (Automatisation et Systèmes Sûrs de Fonctionnement) et est co-animé par E. Craye et M. Combacau,
- à l'action S3 (Sûreté, Surveillance, Supervision) du GdR Automatique animée maintenant par C. Berenguer, D. Maquin et Q. Zhang,
 - au groupe de travail émergent de l'AFIA (Association Française pour l'Intelligence Artificielle): Collège Apprentissage, Fouille et Extraction (CAFE).

De plus, de par la volonté de coopérer industriellement et scientifiquement, les membres du projet entretiennent des partenariats privilégiés avec des entreprises telles que PREDICT, ALSTOM Moteurs Nancy, INNOTHERA, BAYESIA, PSA, EUROCOPTER, Malteries SOUFFLET... qui se traduisent entre autres aujourd'hui par deux DEAs en cours dont [DEA11], un DRT en cours [DRT2], une proposition de CIFRE pour l'année 2002-2003, un projet EUREKA-ROBCRANE.

L'ensemble des membres de ce projet est aussi acteur, au sein de l'UHP, dans les formations de niveau supérieur, dont la maintenance est une option voire une spécialité (ESSTIN 5A, DESS PAI, Licence professionnelle en TéléMaintenance, DESS SSI).

Cohérence avec la politique institutionnelle

Politique scientifique du CNRS

Par rapport à la logique développée au sein du département STIC du CNRS, notre projet se positionne de façon très cohérente sur les problématiques scientifiques de plusieurs "Réseaux Thématiques Pluridisciplinaires" relativement à la finalité productivité (RTP 47: production coopérative médiatisée⁶²) (participation au dépôt de l'AS MACOPEG dont les 2 animateurs sont O. Senechal (LAMIH) et N. Zerhouni (LAB)) et sûreté (RTP 20: Fiabilité, diagnostic et tolérance aux fautes des systèmes complexes). Ce dernier RTP identifie 6 domaines de problématique dont le "domaine 1: Conception d'architectures matérielles assurant la sûreté" et le "domaine 5: Politiques d'exploitation / maintenance pour la sûreté" qui couvrent le champ d'investigation de notre projet. D'autre part compte tenu des secteurs d'application potentiels de ce projet, il pourrait aussi se positionner relativement au **RTP 50: Environnement**.

Politique scientifique de la Région Lorraine

Le contrat de plan Etat-Région Lorraine (2000-2006) comprend un Pôle de Recherches Scientifique et Technologique "Sûreté Industrielle et Déchets" avec un projet intitulé "Automatisation et Prévention des Risques" qui s'intéresse plus particulièrement à deux types systèmes, les **systèmes dormants** et les **systèmes enfouis** (voir chapitre II). Les objectifs de notre projet s'inscrivent directement dans ce projet car la sûreté des systèmes dormants est largement conditionnée par la qualité de leur maintenance qui peut être pour des conditions d'inaccessibilité, réalisée à distance par des actions spécifiques à travers les moyens de transport de l'information (e-maintenance). De plus, afin de dépasser la stricte dimension technologique des problèmes, le projet cherche à prendre en compte les implications humaines (l'utilisateur, l'opérateur, le consommateur...) sur ces systèmes en rassemblant des automaticiens, des psychologues, des ergonomes, pour travailler sur les nouvelles formes de relations homme – automatismes pour l'aide à la décision (en conception, en maintenance).

⁶² Déclaration de politique scientifique des communautés Productique et Génie Industriel destinée à la MSU et au DSTIC du CNRS. J.P. Bourrières, J. Erschler, P. Ladet (10 juin 2002).

Ce contrat est ainsi l'occasion pour notre projet de collaborer avec des chercheurs du domaine de la psycho-ergonomie comme le Pr. E. Brangier de l'Université de Metz ((ETIC JE 2352).

L'ensemble des items précédents de justification de notre projet, nous permet de dégager des indicateurs dont l'évaluation est a priori positive (cohérence, effectivité, pertinence, ...) ayant pour conséquence, au-delà de cette limite du contrat quadriennal en cours, que nous défendions en l'adaptant, ce projet pour le prochain quadriennal 2004-2007 du CRAN.

V. Ressource expérimentale: Plate forme IMS

La plupart des travaux de recherche que nous avons menés sur l'automatisation des systèmes de production, a été validé sur la plate forme IMS (Intelligent Manufacturing vs Maintenance System) du CRAN initialement connue sous le nom de plate forme d'Actionnement et de Mesure Intelligents (AMI). En effet les différentes expérimentations réalisées au CRAN ont eu pour conséquence essentielle de faire évoluer la plate forme AMI, initiée en 1992, pour prendre en compte chacune des problématiques des systèmes intégrés de Contrôle, Maintenance et Gestion Technique à base de composants interoperables puis celles des systèmes intelligents de production pour aboutir à la plate forme IMS (Figure 30).

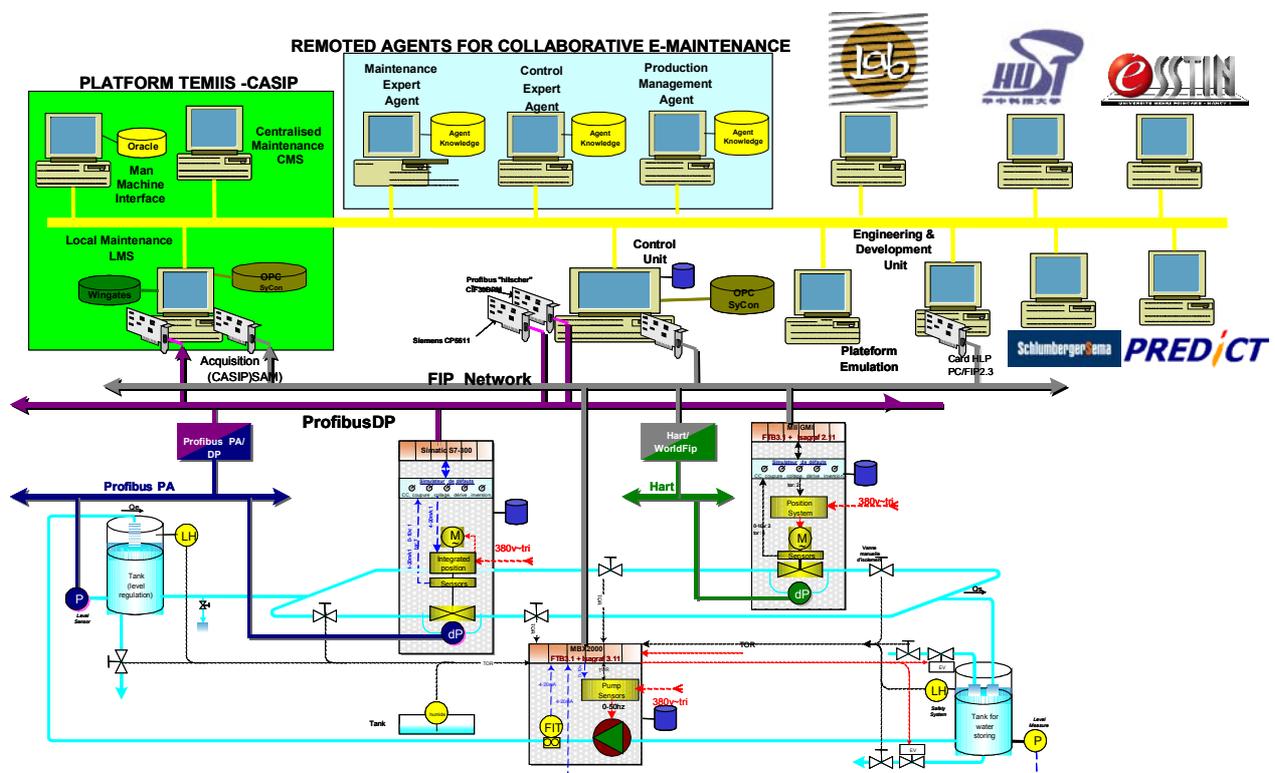


Figure 30: Plate forme IMS du CRAN

Cette plate forme est issue de nos collaborations industrielles (extrait du pilote en CMMS/IAMS disponible à l'ENEL en Italie) et a pour finalité physique, une régulation en niveau d'eau, mise en œuvre au travers d'une structure de ressources actives dites "intelligentes" (capteurs, actionneurs) et passives (tuyaux, cuves), piloter et synchroniser, aux états stables des transformations, par des processus d'automatisation communiquant par réseaux de terrain (WorldFip, Profibus) et intégrés autour d'un système commun d'information techniques ouvert vers le niveau Entreprise (Intranet) et son environnement (Internet). Autour de ce système d'informations, une extension de cette plate forme est en voie de finalisation pour lui conférer un plus haut degré d'adaptabilité dans l'objectif à terme de disposer d'une plate forme multi-agents pour une Maintenance Prévisionnelle (Proactive) du produit

et des ressources de production dans un contexte d'Entreprise Etendue (Maintenance à distance, travail collaboratif, organisation dynamique). Cette plate-forme représente, pour le projet "Processus décisionnel en maintenance pour la maîtrise de la sûreté et de la productivité" du thème CSSF, un cadre d'expérimentation aussi bien relativement au système cible et aux expérimentations à mener qu'aux outils/méthodes à utiliser conjointement. Par exemple, un financement consécutif à l'appel à projets lancé par le CRAN, a permis fin septembre 2002, de doter chacun des acteurs du projet d'un accès à distance à la plate forme à travers la suite CASIP de Predict (pour récupération des données statiques et dynamiques de fonctionnement) et d'outils de mise en forme et d'exploitation de ces informations. Cette plate forme a aussi pour objet à travers son support de travail collaboratif, de fédérer des recherches en interne au CRAN (transversalité thèmes PAPP-CSSF), de supporter à très court terme dans le domaine de la maintenance intelligente (à distance) des partenariats scientifiques nationaux avec le LAG (Z. Simeu-Abazi) et le LAB (N. Zerhouni) et internationaux avec HUST (Chine) et d'autres laboratoires impliqués dans le Réseau Sino-Européen CENNET et le réseau IMS-NOE. Des collaborations en interne au projet de recherche (avec ESSTIN), en externe avec d'autres laboratoires (LAB, HUST) et avec des industriels (PREDICT, SCHLUMBERGERSEMA) sont déjà actives sur cette plate forme. De plus cette plate forme, relativement à notre fonction d'enseignant, est à la base du transfert des résultats de nos recherches vers nos activités pédagogiques principalement prospectives (Télmaintenance) avec un impact de dissémination très important à court terme puisque ses principes ont été repris dans les spécifications d'une "plate-forme d'intégration AIPL/ATELA^{66,67} en Télmaintenance" (en fait une double plate forme) qui fait l'objet au niveau UHP d'un projet (sous la responsabilité d' E. Levrat) avec une demande de subvention à la région Lorraine sous l'intitulé "formation innovante" (Figure 31) (Figure 32). Ce projet a été accepté par l'UHP, financé⁶³ dès cette année en partie par la région Lorraine (la partie mécanique de la plate forme est déjà réalisée) et fait l'objet vis à vis de l'AIPL d'un projet inter-AIPs afin de rendre la nouvelle maquette accessible à d'autres sites AIP en France.

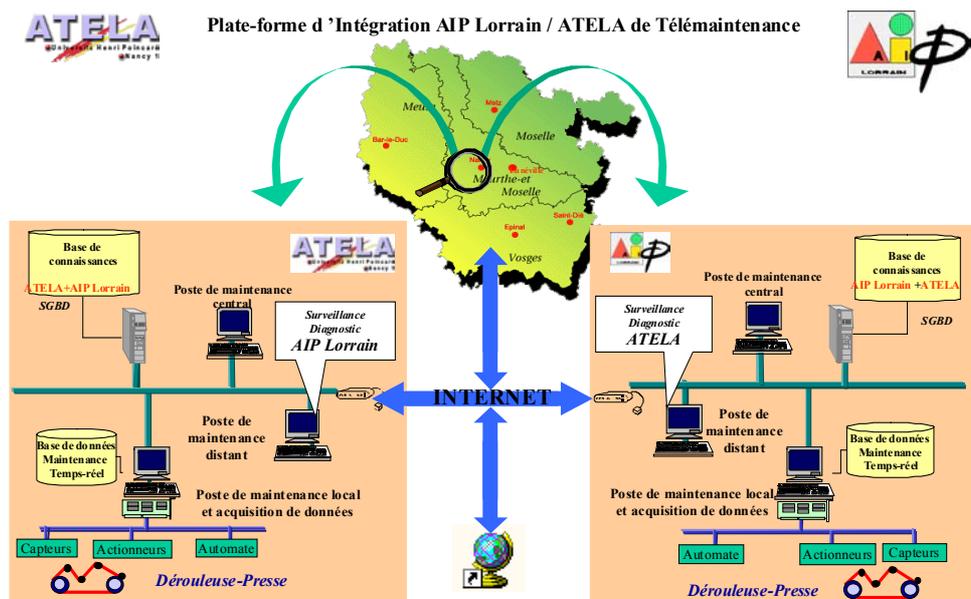


Figure 31: Plate forme d'intégration AIPL/ATELA de Télmaintenance

⁶³ Cette demande de financement a été acceptée pour l'année 2002-2003 à hauteur d'un financement de 20 k Euros (budget global en financement propre et région de 100 k Euros).

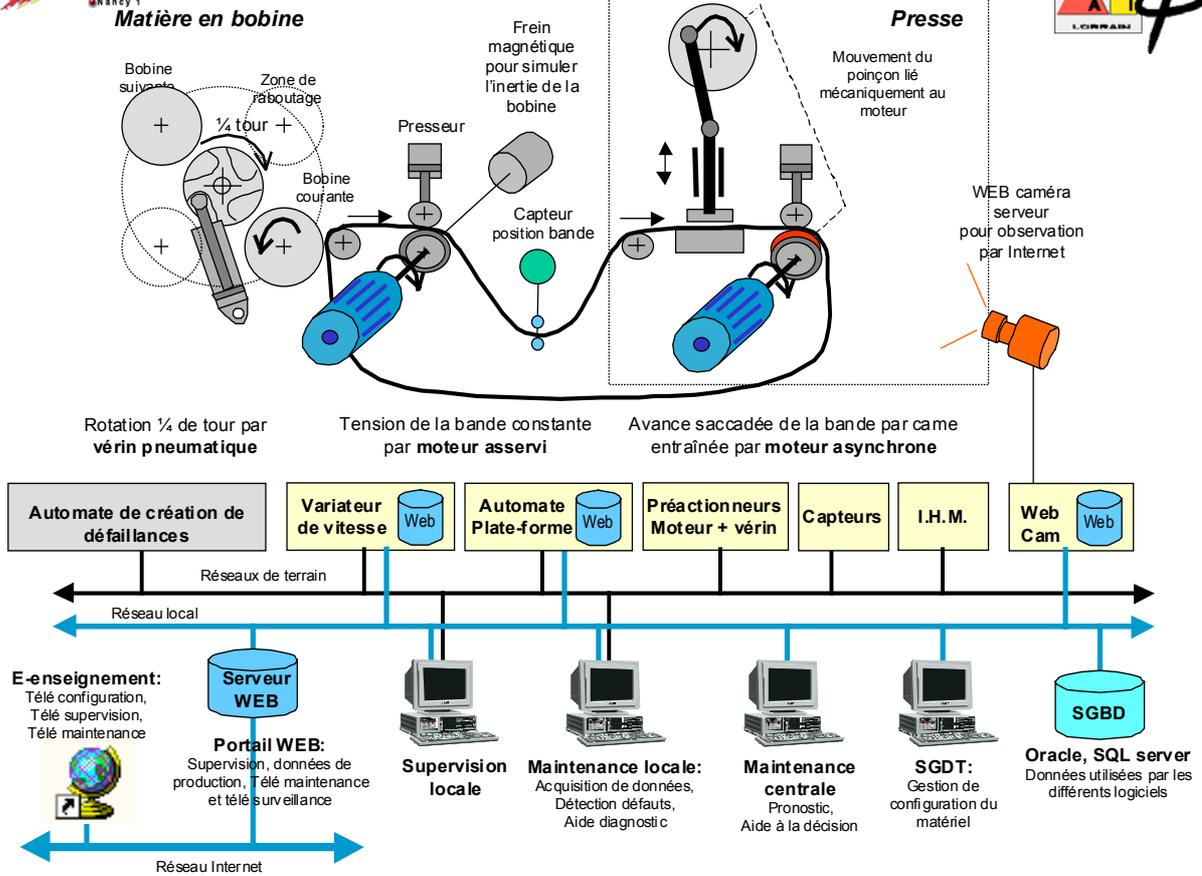


Figure 32: Architecture technique de la plate forme d'intégration AIP/AATELA de Télémaintenance

VI. Activités d'enseignement et de son administration

Notre activité d'enseignement a débuté pendant notre thèse, financée sous contrat privé avec l'EDF/DER de Chatou, par des enseignements (environ 120h TD) en tant que vacataire dans la formation continue du CUCES (programme de reconversion des ouvriers sidérurgiques lorrains) et du CNAM (cycle B). Elle s'est poursuivie dans un cadre plus institutionnel juste après la thèse entre 1992 et 1993 sous la forme d'un poste d'ATER (Attaché Temporaire d'Enseignement et de Recherche) à la faculté des sciences de Nancy (service complet de 192h TD). Enfin depuis notre nomination en tant que Maître de Conférences (emploi 61^{ème} section, n° 1184) à l'ESIAL (Ecole Supérieure d'Informatique et Applications de Lorraine) en septembre 1993, nous effectuons la majeure partie de notre enseignement dans cette école et au sein de l'UFR STMIA de la faculté des sciences de Nancy auprès principalement d'étudiants de deuxième et troisième cycle (2^{ème} et 3^{ème} années ESIAL, Licence IUP GEII option CASI, DESS PAI, DEA PA).

La création de notre poste en 1993 était lié au déploiement de la filière "productique" à l'ESIAL (sur l'initiative du Professeur Jacques Richard) et qui est devenue depuis la restructuration de l'école suite aux demandes de la CTI (Commission du Titre de l'Ingénieur) une des quatre spécialisations, intitulée "Ingénierie des Systèmes de Production" (ISP) dont l'acronyme a évolué en 2002 vers **ALSI** (Applications Logicielles pour les Systèmes Industriels). En ce sens nous avons assumé depuis 1995, la responsabilité de la 3^{ème} année filière productique puis la responsabilité sur les trois années de la spécialisation ISP (voir Tableau 4 de synthèse des responsabilités d'enseignement).

En formation initiale, notre service, quantitativement développé dans le Tableau 5, comporte des cours magistraux, des travaux dirigés et des travaux pratiques dans des modules pour la plupart en lien avec notre thématique de recherche autour du concept **d'Automatisation des systèmes intégrés de production, et de leur Ingénierie**. Notre objectif est de contribuer essentiellement, en réponse à une demande industrielle⁶⁴, à la formation d'ingénieurs (des "intégrateurs") ayant des connaissances et compétences à la fois assez généralistes et spécifiques dans l'application des NTIC (Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication) à l'ingénierie, le développement voire l'exploitation des nouveaux systèmes industriels (et de chacun de ses processus) relativement à la finalité **produit**.

En ce sens, nous avons une implication en enseignement dans les modules suivants:

- pour l'ESIAL en "Analyse des Systèmes de Production" (e.g. méthode SADT, approche processus), en "Ingénierie d'Automatisation des systèmes" (e.g. concept de MES, structuration de la partie commande autour des normes IEC1131 et 1499), en "Intégration des Systèmes de Production" (e.g. paradigme systémique, cadre de modélisation), en "Méthodes et Outils pour l'Automatisation

⁶⁴ Article « Ces nouveaux métiers qui explosent dans l'entreprise » - L'usine nouvelle – n°2677 – Mars 99. Propos d'Albert Merlin directeur de la revue Sociétal et de Jean Pierre Boisivon délégué général de l'institut de l'entreprise lors de conférence « Les métiers de Demain » organisée par la fondation Prospective et Innovation – Lundi 14/12/98 – Futuroscope

des Systèmes" (e.g. modèles pour les SED), et en "Gestion de Production" (MRPII, JàT, PIC).

- pour le DESS-PAI en "Ingénierie de Production Intégrée", en "Génie Automatique" et en "Fabrication Intégrée".
- pour l'IUP GEII – option CASI en "Automatismes Séquentiels".
- pour le DEA – PA en "Outils d'ingénierie du CIM", en "Modélisation en Ingénierie Intégrée des SAP".

Période	Formation	Activités
t > 09/2002	DESS - PAI de l'ESIAL	Responsable pédagogique
2000 > t < 2002	ESIAL	Responsable pédagogique de la spécialisation ISP "Ingénierie des Systèmes de Production" dénommée maintenant ALSI (Applications Logicielles pour les Systèmes Industriels). Rédaction du programme pédagogique ⁶⁵ de cette spécialisation.
1994 > t < 2000	ESIAL	Responsable pédagogique de la 3 ^{ème} année ESIAL-Spécialité Productive. Responsable des stages et projets industriels de cette spécialité.
1993 > t < 1996	DESS – PAI de l'ESIAL	Responsable du module de "formation pratique": stages et projets.
t > 1995	ESIAL DESS PAI IUP-GEII	Responsable de modules de formation à l'ESIAL (e.g. 6 modules en 2001-2002: Analyse des Systèmes de Production, Ingénierie d'Automatisation, Gestion de Production, Scénario d'Intégration des systèmes de production, Intégration d'Applications Logicielles en Sécurité de Fonctionnement et Maintenance, Gestion Intégrée d'Entreprise), au DESS PAI (e.g. 1 module en 2001-2002 (IQM3)), et à l'IUP-GEII option CASI (module Automatismes Séquentiels depuis 1994
t > 1995	ESIAL	Elu au conseil de l'ESIAL - collège Maître de Conférences.
Mars 1997	PAF	Responsable du PAF en maintenance intégrée dans les systèmes distribués (Réf.: 96057119L, Mars 1997).

Tableau 4: Synthèse de nos activités d'administration de l'enseignement

L'évolution actuelle de notre thématique de recherche vers des systèmes intelligents de production principalement plus à même à se maintenir, nous a conduit depuis 3 ans, en complément des modules cités précédemment, à initier ou participer à des enseignements autour des systèmes intelligents (module de TC "Modélisation en Ingénierie Intégrée des SAP"; module d'option "Outils d'Ingénierie du CIM", du DEA PA) et de leur maintenance dans un contexte d'Entreprise Étendue (Evolution vers une Maintenance proactive, nouvelles architectures de Maintenance, nouvelle ingénierie, ...). Relativement ainsi à cette problématique de la Maintenance en tant que processus d'Entreprise, nous avons assuré depuis trois ans des enseignements à l'ESIAL (module "Intégration d'Applications Logicielles en Sécurité de Fonctionnement et Maintenance"), au DESS PAI (module Maintenance Intégrée), au DESS SSI (Sécurité des Systèmes Industriels), à l'ENSGSI (Ecole Nationale Supérieure en Génie des Systèmes Industriels) et tout dernièrement à la Licence Professionnelle de l'UHP en Maintenance – option "Télémaintenance" (auquel il faut ajouter cette année 2002 une intervention ponctuelle à l'ESSTIN en 5^{ème} année – option Maintenance).

⁶⁵ Rapport interne ESIAL de Juin 1999, intitulé " Proposition d'une spécialisation ESIAL: Ingénierie des Systèmes de Production (ISP)". Auteur: B. lung

Public	Discipline	Type	93/94	94/95	95/96	96/97	97/98	98/99	99/00	00/01	01/02	Total	
DEA PA	Ingénierie du CIM	C		10	6		2	6	6	6	6	42	
DESS PAI	Ingénierie de Production Intégrée	C		4	4							8	
		TD	4	16	16	16	16	16	16			100	
		TP	36									36	
	Fabrication Intégrée	TD	8	10	10	10	4	8	4	4			58
		TP	32				4						36
	Maintenance Intégrée	TD		4	4	6	4	4	4	4	4		30
		TP					4		8	4			16
	Génie Automatique	C							4	8			4
		TD							4	8			12
		TP							8				8
	Qualité – Maintenance	TD										6	6
TP											16	16	
Formation Pratique	TP	75	40									115	
DESS SSI	Ingénierie Système et Maintenance	TD						9	9	9	18	45	
ESIAL 3	Intégration des Systèmes de Production	C		12	12	12	15	15	15	8	8	97	
		TP		32	48	48	32	36	24	44	22	286	
	SdF – Maintenance	C								6	6	12	
		TP								16	8	24	
	CMAO	C		4	4								8
		TD		4	4	4	8	8	8				36
		TP		16	24	24	8	24	24				120
Projets	TD		40	36	32	26	24	20	25	25	228		
ESIAL 2	Ingénierie des Systèmes de production (ASP)	CM				24	24	24	20	14	12	118	
		TD				24	36	32	12	20	24	148	
	Ingénierie d'Automatisation	C								6	6	12	
		TD									12	12	
	Gestion de Production	C									6	6	
		TD									26	26	
	Découverte de la recherche	TD							12	10		22	
Projet	TD	10	21									31	
Maîtrise Science de l'Industrie	Ingénierie des Systèmes de production	TD	4	6	10							20	
		TP		24	24								48
Licence IUP-GEII	Automatismes Séquentiels	C	18	18	18	18	18	18	18	18	10	154	
		TD	20	22	22	18	18	24	18	16	10	168	
		TP	48	8	8							64	
	Micro-thèse	TP			20							20	
ESIAL1	Modèles et Outils pour l'Automatisation	C	2									2	
		TD								4	4	8	
		TP	84							16		100	
Licence Prof. Maint.	Outils et Méthodes de Maintenance	TD									15	15	
DEUG Sciences	Module EEA	TD					16			10		26	

Tableau 5: Récapitulatif quantitatif de nos enseignements entre 1993 et 2002

Cette volonté de rapprocher autant que faire se peut notre activité d'enseignement et notre activité de recherche a pour conséquence essentielle en cette fin d'année 2002, un transfert de notre responsabilité de la spécialisation ALSI de l'ESIAL vers un autre maître de conférences impliqué dans cette spécialisation afin de prendre la

responsabilité pédagogique du DESS – PAI (Production, Automatisation, Information) dont une des options intitulée IQM traite de l'intégration Qualité – Maintenance au sein des systèmes de production.

A ces heures d'enseignements conventionnels viennent s'ajouter par rapport, d'une part, à l'objectif **de professionnalisation de ces formations**, des encadrements de projets aussi bien proposés en continuité de nos actions de recherche (projets ESIAL 2A, DESS PAI) que menés en partenariat avec l'industrie (projets ESIAL 3A), des suivis de stagiaires (ESIAL, DESS PAI, IUP GEII), et d'autre part, à l'objectif **d'initiation à la recherche**, des encadrements de projets de découverte de la recherche (ESIAL 2A) et de micro-thèse (IUP GMP, IUP GEII) représentant potentiellement un vivier d'étudiants de DEA. Il est à noter que plusieurs des projets industriels ESIAL 3A que nous avons encadrés, ont été financés par l'ANVAR et que plusieurs des autres projets et initiations à la recherche ont été encadrés par des étudiants en thèse ou DEA sous notre responsabilité.

Depuis septembre 1995, le total annuel de ces heures d'enseignement préalablement développés est limité à 240 H eqTD puisque nous bénéficions d'une prime d'encadrement doctoral.

Enfin pour supporter ces enseignements, nous avons contribué au développement de plusieurs Travaux Pratiques autour des systèmes disponibles à l'AIPL⁶⁶ (SFP, Robots) et dans l'ancienne salle de TP d'Automatique (Bras manipulateur) maintenant déplacée à ATELA⁶⁷. Nos deux principales réalisations sont d'une part une maquette intitulée TOTEM supportant des expérimentations dans le domaine de la fabrication intégrée (problème de la transitique du produit par robotique) et d'autre part, la plate forme IMS du CRAN supportant des projets et quelques travaux pratiques dans le domaine de la TélMaintenance.

Finalement en complément de cette formation initiale, nous avons participé aussi (en dehors de notre période de vacances) à des formations continues de type Université d'été, PAF et formation Européenne (Tableau 6).

Titre de la formation	Description
Formation européenne COMETT	MOREL G., LHOSTE P., PANETTO H., IUNG B. "Automation Engineering" - CRAN, AUEF, AIPL + EURILOR, TNI Nancy et FAMIC, NANCY - 16 au 20 Mai 1993. n°93/1/7609
Université d'été	G. MOREL, F. MAYER Université d'été 1995 "Ingénierie Pédagogique en Productique", 17-22 Juillet 1995 Intervenant: B. IUNG
PAF	J.Y. BRON, B. IUNG , J.F. PETIN - P.A.F. en Fabrication Mécanique, Novembre 1993
PAF	B. IUNG , J.Y. BRON, J.B. LEGER- P.A.F. en "maintenance intégrée dans les systèmes distribués", Réf.: 96057119L, AIPL, Mars 1997. Responsable: B. IUNG

Tableau 6: Formation Continue entre 1993 – 2000

⁶⁶ Atelier Inter-Etablissement de Productique Lorrain

⁶⁷ Atelier d'Electronique et d'Automatique de l'UHP

Conclusion

Nos activités de recherche sur la modélisation des systèmes intégrés (vs. Intelligents) de contrôle, maintenance et gestion technique à base de composants interopérables menées au sein du CRAN et développées dans ce mémoire ont toujours été initiées non pas pour le milieu industriel mais bien **par** les applications émergeant de nos collaborations industrielles avec comme objectif de rationaliser les résultats de ces applications par la formalisation de leurs fondements scientifiques. Par conséquent, notre activité dans ce laboratoire d'Automatique (... et d'Automatisation) trouve ainsi sa légitimité "technologique" pour apporter des solutions de R&D innovantes aux problématiques industrielles et "appliquée" pour tirer profit de ces applications pour exploiter, éprouver voire étendre des approches ou méthodes de modélisation.

Notre positionnement scientifique est donc très clairement liés à la symbiotique de ces deux types de recherche qui se matérialise de façon duale, à travers notre participation vs. engagement dans le thème CSSF mais aussi PAPD, dans des projets de R&D à court terme orientés applications mais aussi des projets à long terme orientés recherche appliquée (IMS-WG, IMS-NOE), des groupes de travaux (PRST) mais aussi des groupes scientifiques (S3, GRP, IFAC).

Les résultats obtenus depuis 1992 dans ce contexte de R&D assez unique (programme d'environ 3500 h/mois dont 330 dévolus au CRAN) avec une relation forte avec la Chine, nous ont permis (avec le Pr. G. Morel) d'acquérir une notoriété internationale dans ce domaine reconnue notamment dans notre cas, (a) par la sollicitation du Pr. Garetti du Polytechnico di Milano pour co-animer avec le professeur Laszlo Monostori, le SIG2 du nouveau réseau d'excellence en IMS (special interest group on Manufacturing scheduling and control in the extended enterprise) qui regroupe actuellement environ 100 laboratoires et industriels Européens (en lien avec l'initiative IMS internationale) et (b) par notre participation à 2 TC de l'IFAC.

Ces responsabilités doivent nous permettre de nourrir en retour, d'un point de vue recherche, notre orientation en système intelligent de maintenance qui se structure actuellement, autour de plusieurs Thèse, Deas, DRT en cours, dans le cadre du nouveau projet en maintenance (participation au comité de programme de la prochaine conférence Intelligent Maintenance System 2003 co-présidée par J. Lee). Ce projet que nous animons depuis mi-juin 2002, sera évalué fin 2003 et nous comptons, en fonction des résultats de l'évaluation, l'adapter pour le proposer dans le prochain plan quadriennal du CRAN.

Certains indicateurs de cette évaluation sont déjà positifs comme la reconnaissance scientifique. En effet ce projet a déjà été sollicité par le Pr. Zerhouni du LAB pour participer à la création du groupe "Ingénierie de la Maintenance pour la performance globale" du club du Génie Industriel (avec proposition en cours d'une Action Spécifique intitulée "MAintenance COopérative pour la PErformance Globale") et par le Pr. F. Riane du FUCAM (Mons) pour le dépôt d'une Eol en "Intelligent Maintenance for Life Cycle Optimisation".

C'est dans ce contexte scientifique très prenant et motivant en y associant une composante relationnelle forte aussi bien vis à vis du monde académique qu'industriel et étudiant que nous souhaitons continuer, pour acquérir une

reconnaissance au niveau national plus marquée (participation à des jurys de thèse à l'extérieur de l'UHP), nos activités à la fois de recherche mais aussi d'enseignement et d'administration par un transfert permanent de nos connaissances et compétences.

D'un point de vue purement quantitatif, notre travail a fait l'objet d'une soixante de publications dont 14 dans des revues (avec 2 autres soumissions) et 2 dans des ouvrages avec de nombreuses publications co-écrites avec des industriels et des universitaires extérieurs au CRAN. Nous avons participé à 14 projets ou contrats dont 11 dans un cadre Européen (26 rapports au total). Nous avons co-encadré, co-dirigé ou dirigé 4 étudiants en thèse, 1 post-doctorat, 13 DEAs et DRTs comme l'atteste les publications communes et notre participation aux jurys. Nous avons enfin exercé plusieurs activités d'expertise, de critique scientifique pour des revues ou des colloques.

Production scientifique⁶⁸

1. Revue avec comité de lecture

Internationales (9)

- RI1 Petin J.F., **lung B.**, Neunreuther E., Morel G.; *Methodological contribution to Intelligent Actuation and Measurement*; European Journal of Automation, vol. 30, n°6, pp. 897-918, 1996, ISSN 0296-1598.
- RI2 Pétin J.F., **lung B.**, Morel G. ; *Distributed intelligent actuation and measurement system within an integrated shop-floor organisation*; Computer in Industry, special issue on Intelligent Manufacturing System, vol. 37, issue 3, pp. 197-211, December 1998, ISSN 0166-3615.
- RI3 Léger J-B., **lung B.**, Ferro de Beca A., Pinoteau J.; *An innovative approach for new Distributed Maintenance System: application to Hydro Power Plants of the REMAFEX project*; Computer in Industry, vol. 38, issue 2, pp. 133 - 150, , February 1999, ISSN 0166-3615.
- RI4 Stylios C., **lung B.**, Langer G., Hyun Y. T., Sørensen C., Weck M., Groumos P.; *Research contributions to the modelling and design of intelligent manufacturing systems*; International Journal "Studies in Informatics and Control", Vol. 9., N°2, pp 111-132, June 2000. ISSN 1220-1766.
- RI5 **lung B.**, Neunreuther E., Morel G.; *Engineering Process of Integrated – Distributed Shop Floor Architecture based on Interoperable Field Components* ; International Journal of Computer Integrated Manufacturing ; Vol. 14, n°3, pp246-262, 2001. ISSN 1362-3052
- RI6 Liu Y., Ye L., **lung B.**, Liu X., Cheng Y., Morel G., Fu C.; *An economic performance evaluation method for hydroelectric generating units*; International Journal of Energy Conversion and Management. Elsevier Science. Volume/Issue 44/6 pp. 797-808. April 2003. ISSN 0196-8904.
- RI7 **lung B.**; *From remote maintenance to MAS-Based E-maintenance of an industrial process*. International Journal of Intelligent Manufacturing. Eds. A. Kusiak. . Special Issue on Internet-Based Distributed Intelligent Manufacturing Systems (Ed. Z. Banaszak). Vol.14 n°1, January 2003. pp 59-82. ISSN 0956-5515
- RI8 Fu C., Ye L., Yu R., Liu Y., **lung B.**, *Predictive Maintenance in Intelligent-Control Maintenance-Management System for Hydroelectric Generating Unit*. IEEE Transactions on Energy Conversion. Accepted in November 2002 to be published in 2003.
- RI9 **lung B.**, Morel G., Léger J.B., *Proactive maintenance strategy for harbor crane operation improvement, Robotica*, Special issue on Cost Effective Automation, Eds H. Erbe, Accepted in September 2002 – To be published in 2003

Nationales (5)

- RN1 G. Morel, M. Roesch, **B. lung**; *Les outils de X.A.O. dans le cycle de vie de l'Automatisation*; Revue générale de l'électricité (R.G.E.) N° 9; pp 2-7; Octobre 89.
- RN2 JF. Pétin, **B. lung**, G. Morel, P. Lhoste; *Expérimentation sur site industriel du concept ESPRIT-DIAS*; Revue d'Automatique et de Productique Appliquées (RAPA), Vol. 5; N°4; pp 9-25; ISSN 0990-7009, Décembre 1992.
- RN3 Petin J.F., Morel G.*, **lung B.**, Lhoste P., *Contribution to an industrial strategy of factory of future*, Automatics, Scientific Bulletin 64, n° 1546, p. 205-220, University of Mining and Metallurgy of Cracow (Poland), 1993, ISSN 0454-4773 ; Invited lecture at the 10th International Symposium on applications of system theory, 20-22/10/1993, Zakopane (Poland).
- RN4 C. Liu, L. Ye, **B. lung**, G. Morel, *Predictive Maintenance on Water Turbine Governing System*, Journal of Wuhan University of Technology; Eds. China International Book Trading Corporation; Vol. 23, N°1, April 2001; ISSN 1000-2405 (in Chinese).
- RN5 Liu Y., Ye L., Chen Y., **lung B.**, Morel G., Li Z., *Hybrid Smart Automation System for Hydro Power Plants*; Revue Chinoise "Automation of Electric Power Systems" (in English), Vol. 26, October 2002. ISSN 1000-1026.

⁶⁸ Les auteurs soulignés (universitaires , industriels) sont externes au laboratoire; les conférenciers qui ne sont pas 1ers auteurs sont marqués*

2. Ouvrages

Internationaux (1)

- OI1 Léger J.B., Neunreuther E., **lung B.**, Morel G. ; *Integration of the predictive maintenance in manufacturing systems*, Advanced manufacturing Series: advances in manufacturing, decision, control and information technology, part II, n°13, p. 133-143, ISBN 1-65233-126-7; 3rd European robotics, intelligent systems and control conference, 22-25/06/98, Athens (Greece).

Nationaux (1)

- ON1 **lung B.**, Lhoste P., Petin J.F., Morel G. ; *Spécification, conception, réalisation et expérimentation d'un prototype d'actionneur intelligent* ; Ouvrage LAAS-CNRS: *capteurs intelligents et microactionneurs intégrés*, p. 191-192, 1992, ISBN 2-85428-289-2; Colloque international LAAS-CNRS, 24-25/10/1991, Toulouse.

3. Manifestations avec comité de lecture et actes

Internationales et Invitées (5)

- INV1 **lung B.**, Lhoste P., Morel G., Roesch M., *Functional modelling of an Intelligent Actuator: applicable to an ON/OFF or modulating electrical valve*, In: Proceedings of the Workshop ESPRIT-CIM: CIM in the Process Industry, organised by the Athens Chamber of Commerce and Industry, the CEC, DGXIII and ESPRIT projects, **Invited lecture**, chapter "Advanced process control systems"; June 20-21, 1991, Athens, Greece.
- INV2 Morel G., Lhoste P., **lung B.**, Petin J.F., Corbier F., Douchin O. ; *Discrete event automation engineering: outline of the PRIAM project* ; **Invited lecture** at the 25th BIAS-Automation'93 International Conference, part II, p. 1105-1116, 23-25/11/93, Milan, Italy.
- INV3 Morel G., **lung B.** ; *Balancing between integration and distribution paradigms: the modelling process of the european CMMS-IAMS projects*; **Invited lecture** at the second ICEIMT'97 International Conference on Enterprise Integration and Modeling Technology, p 339-347, 28-30/10/1997, Torino, Italy, ISBN 3-540-63402-9.
- INV4 **lung B.**, Morel G; *Towards Intelligent Maintenance Integrated within the Enterprise* ; **Invited Lecture**, MCPL'2000, 2nd IFAC Conference on Management and Control of Production and Logistics, pp414-420, 5-8 July 2000, Grenoble, France.
- INV5 Morel G., Suhner M., **lung B.**, Léger J.B.; *Maintenance holistic framework for optimising the cost/availability compromise of manufacturing systems*. 6th IFAC Symposium on Cost Oriented Automation (Low Cost Automation 2001). **Survey paper**. October 8-9 2001, Berlin, Germany.

Internationales (30) dont 2 dans sessions invitées

- CI1 Galara D., Favennec J.M., **lung B.***, Morel G. ; *Distributed Intelligent Actuators and Sensors* ; International Conference IEEE-COMPEURO'93 in design, manufacturing and production, p. 79-86, 24-27/05/93, Evry, France, ISBN 0-8186-4030-8.
- CI2 **lung B.**, Petin J.F., Morel G. ; *Development and Integration of Intelligent Actuator in a Manufacturing System* ; ICAM'93 International Conference on advanced mechatronics and great advancement in intelligent machines, p. 191-196, 02-04/08/1993, Tokyo, Japan.
- CI3 Lhoste P., **lung B.**, Mayer F.*, Morel G. ; *Reference modelling for distributed intelligent control systems* ; IEEE/SMC'93 International Conference on systems, man and cybernetics, vol. 3, p. 84-89, 17-20/10/1993, Le Touquet, France, ISBN 0-7803-0911-1.
- CI4 Morel G., Lhoste P., **lung B.** ; *Towards intelligent actuation and measurement system*; 1st ASI'94 Advanced Summer Institute of the Network Of Excellence on Intelligent Control and Integrated Manufacturing Systems, p. 121-126, 26-01/06-07/1994, Patras, Greece.
- CI5 Galara D., **lung B.***, Morel G., Russo F. ; *Intelligent actuation and measurement system-based modelling: the PRIAM way of working* ; 2nd IFAC Workshop on computer software structures integrating AI/KBS systems in process control, p. 92-97, 10-12/08/1994, Lund, Sweden, IFAC Series ISBN 0-08-042360-4
- CI6 Morel G., **lung B.**, Galara D., Russo F. ; *Prototyping a sub-concept of computer integrated manufacturing and engineering (C.I.M.E.): the integrated control, maintenance and technical management system (C.M.M.S.)*; 1st World Automation Congress, TSI Press Series on Intelligent Automation and Soft Computing: Trends, in research, development and applications, vol. 2, p. 25-30, 14-17/08/1994, Maui, USA, ISBN 0-9627451-5-4.

- CI7 Galara D., Russo F., Morel G.*, lung B. ; *Update on the European state of the art of intelligent field devices* ; ISPE'95 International Conference on process engineering in intelligent systems, p. 1-4, 09-14/07/1995, Snowmass, USA.
- CI8 Pétin J.F., Mery D., Panetto H., **lung B.**; *Validation of software components for Intelligent Actuation and Measurement*; In: Proceedings of the 6th International Symposium on Robotics and Manufacturing (ISRAM'96), 2nd WAC'96 World Automation Congress, Special session "Innovative Automation Engineering", Vol. 3, pp 631 – 637, May 27-30, 1996, Montpellier, France, ISBN 1-889335-00-2.
- CI9 Mayer F., Morel G., **lung B.**, Léger J.B. ; *Integrated manufacturing system meta-modelling at the shop-floor level* ; ASI'96 Advanced Summer Institute of the Network Of Excellence on Intelligent Control and Integrated Manufacturing Systems, p. 257-264, 2-6/06/96, Toulouse, France.
- CI10 Pétin J.F., **lung B.**, Morel G. ; *From Intelligent Actuator to Intelligent Actuation: Outline of ESPRIT D.I.A.S., P.R.I.A.M. and E.I.A.M.U.G. Projects*; International Conference ACTUATOR'96, p. 462-465, 26-28/06/1996, Bremen, Germany.
- CI11 Neunreuther E., **lung B.**, Morel G.*, Léger J.B. ; *Engineering process modelling of an intelligent actuation and measurement system: from users' needs definition to the implementation* ; 4th IFAC-IMS'97 Workshop on Intelligent Manufacturing Systems, p. 69-74, 21-23/07/1997, Séoul, Korea; IFAC Series, 1998, ISBN 0-08-043025-2.
- CI12 Léger J.B., **lung B.**, Ferro De Beca A., Pinoteau J.; *A new approach of Distributed Maintenance System: the REMAFEX way of Working*; In: Proceedings of 4th Advanced Summer Institute Conference of the ICIMS-NOE (ESPRIT Project n°9251), ASI97, pp 408-419, July 14-17, 1997, Budapest, Hungary.
- CI13 Léger J.B., **lung B.**; *Methodological approach to modelling of degradation detection and failure diagnosis in complex production system*. In: Proceedings of the ninth international workshop on Principles of Diagnosis DX98, Edited by Nayak P. et Williams B - NASA Ames Research Center, pp. 209-216, May 24-27, 1998, Cap Cod, Massachusetts, USA.
- CI14 **lung B.**, Léger J.B., Morel G., Neunreuther E. ; *An agent oriented architecture of an intelligent predictive maintenance system* ; 5th IFAC-IMS'98 workshop on intelligent manufacturing systems, p. 217-223, 09-11/11/1998, Gramado, Brazil.
- CI15 Pinoteau J., **lung B.**, Ferro de Beca A., Arregui F., Stene B.; *An integrated IT solution for the maintenance activity in manufacturing facilities: the ESPRIT IV-20874 RDT REMAFEX project* ; In: Proceedings of the 9th IFAC/CIRP/IFIP/CNRS/INRIA Symposium on Information Control Problems in Manufacturing, Morel G., Vernadat F., (Ed) 24-26/06/1998, Nancy-Metz; IFAC Series, volume 1, p223-229, 1999, ISBN 0-08-042928 9.
- CI16 Langer G., **lung B.**, Stylios C., Groumpos P., Sorensen C., Hyun Y.T., Weck M., *Discipline Research contributions to the modelling and design of intelligent manufacturing systems*, In: Proceedings of the Second International Workshop on Intelligent Manufacturing Systems 1999, Eds: H. Van Brussel, and P. Valckenaers, pp 669-688, September 22-24, 1999, Leuven, Belgium, ISBN 90-73802-69-5.
- CI17 Léger J.B., **lung B.***, Morel G. ; *Integrated design of prognosis, diagnosis and monitoring processes for proactive maintenance of manufacturing systems* ; IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, SMC'99, IEEE – Catalog Number: 99CH37028C, pp 492-498, Oct.12 - 15, 1999, Tokyo, Japan, ISBN 0-7803-5734-5
- CI18 **lung B.**, Muhl E., Léger J.B., Morel G.* ; *MAS modelling paradigm application for the development of a proactive maintenance intelligent system* ; 1st IFAC-MAS'99 Workshop on Multi-Agent-Systems in Production, pp 89-96, December 2-4, 1999, Vienna, Austria.
- CI19 Simeu-Abasi Z., **lung B.**, Leger J.B., Ly F., *Maintenance in the manufacturing systems*. In: Proceedings of the 2nd International IFAC/IFIP/IEEE conference on management and control of production and logistics MCPL'2000, **Invited session** R4 "Dependable Manufacturing Systems"; Organised by E. Niel, pp 336-341, 5-8 July 2000, Grenoble, France.
- CI20 **lung B.**, Morel D., Lhoste P.; *Interoperable component-based emulation for distributed automated control validation*; In: Pre-prints of the IFAC Workshop MIM2000, **Invited session** WP2 "Intelligent Manufacturing" organised by P. Groumpos, pp 148-154, July 12th-14th 2000, Patraas, Greece
- CI21 **lung B.**, Léger J.B., Panetto H.; *From remote maintenance to co-operative expertise based E-maintenance*, In: Preprints of the 6th IFAC-IMS (Intelligent Manufacturing Systems) workshop, pp81-87, April 24-26 2001, Poznan, Poland.

- CI22 Weber P., Suhner M.-C.*, **lung B.***; *System Approach-Based Bayesian Network to aid Maintenance of Manufacturing Process*; In: Preprints of 6th IFAC Symposium on Cost Oriented Automation (Low Cost Automation 2001), pp 15-21. 2001, Berlin, Germany.
- CI23 Dellea M., **lung B.**, Ragni G., Richard J., *Modélisation d'une ligne de fabrication de moteurs électriques selon l'approche processus de la norme ISO 9000-2000*; In: Preprints of the 2nd International Conference on Integrated Design and production CPI'2001, pp 1-15, October 24-26 2001, Fez, Morocco.
- CI24 Y. Liu, L. Ye, **B. lung**, Y. Cheng, X. Liu, G. Morel, C. Fu; *Economic Performance Based Maintenance and Its Application in Hydroelectric Generating Units*; In: Proceedings of the 1st CENNET Workshop on Digital Manufacturing and Business, pp 165-172, April 14-15, 2002, Beijing, China.
- CI25 Y. Liu, L. Ye, Y. Chen, **B. lung**, G. Morel, Z. Li.; *A New System Integration Architecture for Hydro Power Plants*; In: Proceedings of the 1st CENNET Workshop on Digital Manufacturing and Business, pp 105-113, April 14-15, 2002, Beijing, China.
- CI26 Yu R., **lung B.**, Panetto H., Ye Luqing, Morel G.; *A Committee Negotiation Protocol for MAS-based E-Service for Industrial Process Problem Solving*; In: Proceedings of the 1st CENNET Workshop on Digital Manufacturing and Business, pp 6-14, April 14-15, 2002, Beijing, China.
- CI27 Yu R., **lung B.**, Chuang Fu, Ye Luqing; *An ANN-Based Diagnosis and Prognosis Method for Predictive Maintenance and Its Application*; Sixth International Conference on Knowledge-Based Intelligent Information & Engineering Systems (KES2002); special session on "Knowledge based Neurocomputing systems"; 16-18 September 2002, Italy.
- CI28 **lung B.**, Richard* J., Dellea M., Ragni G.; *Modelling of an ALSTOM electrical engine manufacturing line according to process approach advocated by standard ISO9000:2000*; 5th IEEE / IFIP International Conference BASYS 2002, IFIP Proceedings 229 Kluwer 2002 – ISBN 1-4020-7211-2, pp 19-26, September 25-27, 2002 Cancun, Mexico..
- CI29 Yu R., **lung B.**, Panetto* H., Ye Luqing, Morel G.; *A Mas and CBR Based E-maintenance for Prognosis in Industrial Process*; 5th International Conference on Managing Innovative Manufacturing and E-Business Integration (MIME); September 9-12, 2002, Univ. of Wisconsin Milwaukee, Wisconsin, USA.
- CI30 Fu C., Ye L., Cheng Y., Liu Y., **lung B.**; *Mas-Based model of Intelligent Control-Maintenance-Management System (ICMMS) and its application*; First International IEEE Conference on Machine Learning and Cybernetics, pp 376-380, Beijing, 4-5 November 2002.

Nationale (1)

- CN1 Léger J.B., Morel G., **lung B.** ; *Cadre formel de modélisation des systèmes industriels de maintenance prévisionnelle* ; Journées Doctorales d'Automatique, JDA'99, 21-23 septembre 1999, Nancy, France.

4. Revues et Manifestations avec ou sans comité de lecture et à diffusion restreinte

Internationales (3)

- CIS1 Vogrig R., **lung B.***, *Les apports d'un système de vision dans une cellule flexible d'usinage*, Journée d'études sur la vision artificielle. Institut supérieur industriel de Pierrard-Virton; 25 Mars 1988, Pierrard-Virton, Belgique.
- CIS2 **lung B.**, Morel G., Pinoteau J., YE L., LI Z., Machacek M., *CMMS/IAMS European China Cooperation through EIAM-IPE Project*, 4th WORKSHOP OF THE CHINA NETWORK FOR INTEGRATION IN MANUFACTURING, pp 219-227, October 5th-7th, 1999, Karlsruhe, Germany.
- CIS3 Léger J.B. , **lung B.**, Pinoteau J.; *New Methodology, CASE tool and Platform for Proactive Maintenance*; Workshop organised by CPIN (Centro Promotor de Inovação e Negócios) and PROMOTECH (French Business & Innovation Centre); 26 May 2000, TagusPark – Lisboa, Portugal.

Nationales (7)

- CNS1 Morel G., Roesch M., **lung B.**; *Les outils de X.A.O. dans le cycle de vie de l'Automatisation*; Journée d'études: quelle C.A.O. pour les systèmes automatisés de production ?; club 18 de la SEE; 18 Janvier 1989, Ecole supérieure d'électricité - Gif sur Yvette, France.

- CNS2 **lung B.**, Pétin J.F., Morel G.; *Actionneurs intelligents, choisissez le bon modèle !*; Revue Mesures n°651, pp 49-53; Janvier 1993, ISSN 0755-219.
- CNS3 **lung B.**, Morel G.; *Concepts d'équipements intelligents*; Journée INRS Nancy, réunion n° 461.538/JV, 29 septembre 92. Nancy.
- CNS4 **lung B.**, Morel G. ; *Concepts de CMMS et d'équipements intelligents: application au traitement de l'eau* ; 29/01 et 18/03 1993, Journées-réunions du district urbain de Nancy.
- CNS5 Pétin J.F., **lung B.**, Morel G.; *Spécification d'un outil de modélisation des systèmes d'actionnement et de mesure intelligents: l'outil PRIAM* ; Journées ELISA'97 d'étude du club EEA sur les logiciels pour le traitement de l'image, du signal et l'automatique, 25-26/03/1997, Nancy.
- CNS6 **lung B.**, Léger J.B.; *Collaboration PRIMA-REMAFEX: une contribution à la maintenance prévisionnelle*; séminaire "intégration d'entreprise dans les entreprises industrielles" organisé par le projet ESPRIT 21859 EI-IC, CETIM et CIM-OSA, Mai 18-19, 1998, Senlis.
- CNS7 **lung B.**, Léger J.B.; *Cadre de Modélisation CMMS pour la spécification, la conception et l'implantation d'un système de maintenance*; Séminaire "Système de Maintenance Innovant pour les aéroports" organisé par la CCI DE Lyon Satolas, 29/01/99, Aéroport de Lyon Satolas.

Communications a des groupes de travail nationaux (5)

- CGT1 Lhoste P., **lung B.**, Panetto H., Pétin J.F.; *Démarches de Conception autour du Grafcet*; Ensemble de Communications au groupe Grafcet de l'AFCEC, 04 Juillet 1996, AIPL, Nancy.
- CGT2 **lung B.**; *Contribution à la modélisation des Systèmes Intégrés de Production à Intelligence Distribuée (S.I.P.I.D.): application à la distribution de la commande et de la gestion technique sur les équipements de terrain*; Communication au groupe COMPIL du GRP, 19 Novembre 1998, Institut de Productique, Besançon.
- CGT3 Léger J-B., **lung B.**; *Contribution Méthodologique à la Maintenance Prévisionnelle des Systèmes Industriels de Production: Proposition d'un Cadre Formel de Modélisation*; Action incitative S3 " Sûreté, Surveillance, Supervision " soutenue par le GDR Automatique, le GDR TDSI, et le GDR ISIS. GT1: " Sûreté: fiabilité technique et fiabilité humaine ", 1er juin 1999, ENSAM, Paris.
- CGT4 **lung B.**, Léger J-B. *Contribution Méthodologique à la Maintenance Prévisionnelle des Systèmes Industriels de Production: Proposition d'un Cadre Formel de Modélisation*; Action SPSF "Systèmes de Production Sûrs de Fonctionnement" du GRP "Groupement pour la Recherche en Productique", 9-10 juin 1999, Nîmes.
- CGT5 **lung B.**, *De la maintenance à distance d'un processus industriel vers une maintenance collaborative à base d'une technique multi-agents*; Session "Maintenance Collaborative" organisée par P. Charbonnaud et D. Noyes, Groupe "Automatisation et Systèmes Sûrs de Fonctionnement" du GRP "Groupement pour la Recherche en Productique", 8-9 novembre 2001, Toulouse.

Formation par la recherche

1. Co-direction de thèses (4 + 1)

Autorisé depuis septembre 97 à co-diriger des thèses localement sous la responsabilité du Pr. G. Morel. Les thèses ont été co-encadrées à 50% avec le Pr. G. Morel.

TH1 Pétin J.F.; *Contribution méthodologique à l'actionnement et la mesure intelligents: application au projet ESPRIT III-PRIAM* ; Thèse de doctorat en production automatisée de l'Université Henri Poincaré, Nancy I, mention TH, 14 novembre 1995

Jury: Aubry J-F. (Président) ; Staroswiecki M., Valette R. (Rapporteurs) ; Galara D., Robert M. (Examineurs) ; Morel G. (Directeur de thèse, 50%) ; **lung B.** (Responsable de recherche, 50%)

Situation actuelle: Maître de conférences à l'UHP – ESIAL

TH2 Neunreuther E.; *Contribution à la modélisation des systèmes intégrés de production à intelligence distribuée: application à la distribution du contrôle et de la gestion technique sur les équipements de terrain*; Thèse de doctorat en production automatisée de l'Université Henri Poincaré - Nancy I, mention TH, 19 octobre 1998.

Jury: Lepage F. (Président) ; Bayart M., Vernadat F. (Rapporteurs) ; Valckenaers P. (Examineur) ; Morel G. (Directeur de thèse, 50%) ; **lung B.** (Directeur de thèse associé, 50%)

Situation actuelle: Responsable Assurance Qualité chez Dassault – Data Service (92156).

TH3 Léger J.B. ; *Contribution méthodologique à la maintenance prévisionnelle des systèmes industriels de production: proposition d'un cadre formel de modélisation* ; Thèse de doctorat en production automatisée de l'Université Henri Poincaré – Nancy I, mention THF, 23 avril 1999

Jury: Gabriel M. (Président); Craye E., Niel E. (Rapporteurs) ; Noyes D. (Examineurs); Morel G. (Directeur de thèse, 50%), **lung B.** (Directeur de thèse associé, 50%) ; Gaches R., Pinoteau J. (Industriels invités)

Situation actuelle: Président fondateur de la société PREDICT (54500) après avoir été lauréat régional et national de concours ANVAR d'aide à la création d'Entreprise en 98 et 99.

TH4 Liu Yongqian, *Contributions to the Methodologies and Technologies for the Intelligent Control-Maintenance-technical Management Systems (ICMMS) in Hydropower Plants*, Thèse de doctorat en production automatisée de l'Université Henri Poincaré - Nancy I en co-tutelle avec l'Université de Science et Technology de Huazhong en Chine; mention TH, 18 avril 2002 à Pékin (Chine).

Jury: Pr. G. Doumeingts (Président), Pr. Chen (Chine) [Rapporteurs]; Pr. Ye Luqing (Chine) et Pr. Morel G. (Co-Directeurs de thèse, 50%) ; Pr. Li Zhaohui (Chine) et **lung B.** (Co-directeurs de thèse associés, 50%).

Situation actuelle: Enseignant chercheur à HUST (possible post-doc à l'UHP à partir de fin 2002; en voie d'officialisation)

TH5 Muller Alexandre; *Contribution à la modélisation d'une maintenance prévisionnelle par l'exploitation des données de retour d'expérience*; Thèse débutée en 01/10/2001 pour s'achever fin 2004. Allocataire MENRT. G. Morel (DT), B. lung (DTA), M.C. Suhner (RR).

2. Co-direction de post-doctorant (1 + 1)

POD1 YU Ren – Etudiant Chinois de l'Université de HUST – Financement par une bourse EGIDE de co-opération Franco-Chinoise attribuée par le service scientifique de l'ambassade de France en Chine après une sélection par le Ministère de la Recherche Française. Mai 2001- Mai 2002
Titre de la recherche Post-Doctorale: *Contribution à l'ingénierie d'une plate forme Multi-Agents pour une télé-maintenance des services délivrés par un objet industriel.*

Pr. G. Morel (Directeur de recherche); **lung B.** (Responsable de recherche).

Situation actuelle: Professeur Associé à HUST.

POD2 LIU Yongqian – Etudiant Chinois de l'Université de HUST [TH4] – Financement par une bourse EGIDE dans le cadre du projet CENNET de collaboration avec la Chine.
 Janvier 2003 – Janvier 2004
 Titre de la recherche Post-Doctorale: Contribution Méthodologique à la Gestion Technique des Systèmes Industriels de Production
 Pr. G. Morel (Directeur de Recherche); **lung B.** (Responsable de Recherche)
 Ce post-doctorant est inscrit au diplôme de l'UHP de recherche post-doctorale pour un début de post-doc en Janvier 2003.

3. Co-direction et direction de stagiaires de DRT (1+1) et de DEA (11+2)

- DRT1 Morel D. *Contribution à la simulation de parties opératives interopérables pour la validation d'automatismes distribués*. DRT en Automatique de l'UHP-Nancy I en partenariat avec FAMIC-EURILOR. Rapporteurs: P. Lhoste, C. Pierron (Directeur Eurilor), Examineurs: J.R. Cussenot, M. Bance (Directeur produit Eurilor), Responsable de recherche: **B. lung**; 10 novembre 1999. Situation actuelle: Ingénieur dans la société PREDICT (54500).
- DRT2 Nicchi E.; *Optimisation de la productivité et de la qualité d'une machine automatisée de fermeture pointe et retournement de bas de contention: projet SEXOC*. DRT en SPI de l'UHP Nancy I en partenariat avec INNOTHERA Nomexy.
 Responsable Industriel: Thierry Lavigne (Directeur de production); Directeur de Recherche: G. Morel; Responsable de recherche: **lung B.**
- DEA1 Pétin J.F. ; *Expérimentation sur site industriel du concept ESPRIT II n° 2172 (Distributed Intelligent Actuators and Sensors) " et "contrôle, maintenance et gestion technique: modèles de référence"*, DEA en Production Automatisée de l'Université Henri Poincaré, Nancy I, 1991.
 Morel G. (Directeur de Recherche) ; **lung B.** (Responsable de Recherche)
Situation actuelle: Maître de conférences 2eme classe à l'UHP – ESIAL
- DEA2 Payen G.; *Maquette d'un Environnement de SPécification EXécutable des systèmes DIScrets-CONTINUS" et "CIM ... comme Systémique"*; DEA en Production Automatisée de l'Université Henri Poincaré, Nancy I, 1993.
 Morel G. (Directeur de Recherche) ; **lung B.** (Responsable de Recherche)
Situation actuelle: Ingénieur à ICI en Angleterre
- DEA3 Neunreuther E. ; *Blocs fonctionnels standards: formalisation, normalisation et échange entre outils de spécification et d'implémentation par l'utilisation de STEP* ; DEA en Production Automatisée de l'Université Henri Poincaré, Nancy I, 1994.
 Morel G. (Directeur de Recherche) ; **lung B.** (Responsable de Recherche)
Situation actuelle: Responsable Assurance Qualité chez Dassault – Data Service (92156).
- DEA4 Hurpeau L. ; *Architecture distribuée d'actionnement et de mesure intelligents: application à un processus de régulation de niveau* ; DEA en Production Automatisée de l'Université Henri Poincaré, Nancy I, 1994.
 Morel G. (Directeur de Recherche) ; **lung B.** (Responsable de Recherche)
Situation actuelle: Ingénieur au CHU de Nancy Brabois.
- DEA5 Chabassier R. ; *Extension du modèle A.M.I. à la structuration des systèmes automatisés de production* ; DEA en Production Automatisée de l'Université Henri Poincaré, Nancy I, 1994.
 Morel G. (Directeur de Recherche) ; **lung B.** (Responsable de Recherche)
Situation actuelle: Ingénieur
- DEA6 Ghetti M.; *Formalisation des connaissances pour l'élaboration d'un système d'informations sur le fonctionnement des centrales thermiques EDF* ; DEA en Production Automatisée de l'Université Henri Poincaré, Nancy I, 1995.
 Morel G. (Directeur de Recherche) ; **lung B.** (Responsable de Recherche)
Situation actuelle: Ingénieur en industrie (TRAN à Golbey 88)
- DEA7 Léger J.B.; *Intégration de la fonction de maintenance d'actionnement et de mesure intelligents dans un contexte CMMS* ; DEA en Production Automatisée de l'Université Henri Poincaré, Nancy I, 1995.
 Morel G. (Directeur de Recherche) ; **lung B.** (Responsable de Recherche)
Situation actuelle: Président fondateur de la société PREDICT (54500)

- DEA8 Muhl E.; *Application d'un paradigme de modélisation multi-agents à la modélisation du système "intelligent" de maintenance prévisionnelle de la plate-forme de laboratoire*; Rapport de D.E.A. Production Automatisée, UHP, Nancy 1, 1999.
Morel G. (Directeur de Recherche) ; **lung B.** (Responsable de Recherche)
Situation actuelle: Ingénieur Méthodes-Application PSA.
- DEA9 Elmortada Nader; *Co-opération d'experts à base d'une technique multi-agents pour maintenir à distance un processus industriel*; D.E.A. Production Automatisée, Université Henri Poincaré, Nancy 1, Juillet 2001.
Morel G. (Directeur de Recherche) ; **lung B.** (Responsable de Recherche)
Situation actuelle: Ingénieur en Syrie?
- DEA10 Dellea Marjolaine; *Maîtrise de la qualité dans une ligne de fabrication selon l'approche processus de la norme ISO9000 version 2000*. DEA P.A. en partenariat avec Alstom-Nancy, Université Henri Poincaré, Nancy 1, Juillet 2001.
J. Richard (Directeur de Recherche); **lung B.** (Responsable de Recherche)
Situation actuelle: Ingénieur Qualité chez ESSILOR
- DEA11 Ramseyer Christophe; *Intégration de méthodes qualité-maintenance au sein de l'approche processus de la norme ISO9000-2000: application à la maîtrise de la qualité dans la ligne de fabrication de moteurs ALSTOM*. DEA P.A. en partenariat avec Alstom-Nancy, Université Henri Poincaré, Nancy 1, Juillet 2002.
J. Richard (Directeur de Recherche); **lung B.** (Responsable de Recherche)
Situation actuelle: En recherche d'emploi
- DEA12 Deeb Salah; Prototypage du concept de produit intelligent pour une meilleure maîtrise de la qualité dans une ligne de fabrication. DEA PA, Université Henri Poincaré-Nancy 1, en cours sur 2002-2003.
J. Richard (Directeur de Recherche); **lung B.** (Responsable de Recherche)
- DEA13 Cordary Fabrice; Modélisation du processus de pronostic dans le contexte de Maintenance Prévisionnelle de la plate forme IMS; DEA PA, Université Henri Poincaré,-Nancy 1, en cours sur 2002-2003.
Morel G. (Directeur de Recherche); **lung B.** (Responsable de Recherche)

4. Accueil d'étudiants étrangers (5)

LI Gangyan, Professeur au "Wuhan Automotive Polytechnic University", d'octobre 98 à janvier 99 au CRAN/GSIP sous la responsabilité de G. Morel et **B. lung**, bourse du Pôle Universitaire Européen pour un travail intitulé "CIM overview in France".

LIU Yongqian de HUST (Huazhong University of Science and Technology), d'octobre 98 à octobre 99 au CRAN/GSIP dans le cadre de sa co-tutelle de thèse entre HUST et UHP-Nancy I, sous la responsabilité à l'UHP de G. Morel et **B. lung**.

LIU Changyu de HUST (Huazhong University of Science and Technology), de Décembre 99 à Février 2000 au CRAN/GSIP sous la responsabilité de G. Morel et **B. lung**, bourse du Pôle Universitaire Européen pour un travail intitulé "Development of a new intelligent governor based on technical intelligence".

YU Ren de HUST (Huazhong University of Science and Technology), de Mai 2001 à Mai 2002 au CRAN/PAPD sous la responsabilité de G. Morel et **B. lung**, bourse EGIDE de co-opération Franco-Chinoise attribuée par le service scientifique de l'ambassade de France pour un travail intitulé "Contribution à l'ingénierie d'une plate forme Multi-Agents pour une télé-maintenance des services délivrés par un objet industriel".

LIU Yongqian de HUST (Huazhong University of Science and Technology), de Janvier 2003 à Janvier 2004 au CRAN PAPD sous la responsabilité de G. Morel et **B. lung**, bourse EGIDE dans le cadre du projet CENNET de collaboration avec la Chine pour un travail intitulé "Contribution Méthodologique à la Gestion Technique des Systèmes Industriels de Production"

Rayonnement scientifique

1. Animation scientifique

- Niveau Local:
 - Co-responsable scientifique avec M.C. Suhner (CRAN), entre 2000 et 2002, de l'action 1 de recherche technologique du CRAN en Optimisation des Processus Décisionnels en Maintenance (Thème CSSF – Projet 1: Sûreté de Fonctionnement des Systèmes Industriels). Depuis juin 2002, **responsable** du nouveau projet 1: Processus Décisionnel en Maintenance pour la maîtrise de la sûreté et de la productivité, du thème CSSF.
 - Membre nommé depuis 2001, au comité scientifique du PRST "Sûreté Industrielle et Déchets" de la région Lorraine.
 - Membre élu d'une commission de spécialiste UHP-61^{ème} section comme titulaire entre 1994 et 1997 puis comme suppléant entre 1998 et 2001.
- Niveau National: Participation à des groupes de travail
 - De 1992 à 1994, participant au groupe du CIAME "Actionneurs Intelligents".
 - De 1995 à 1998, participant au groupe du CIAME "Interopérabilité".
 - De 1995 à 1997, participant à la commission de recherche du club EEA en remplacement de G. Morel.
 - De 1998 à 2002, participant au groupe SPSF (Systèmes de Production Sûrs de Fonctionnement) du Groupement de Recherche en Productique GRP. Ce groupe est dénommé depuis fin 2001: AS2F (Automatisation et Systèmes Sûrs de Fonctionnement).
 - Depuis 1999, participant à l'action S3 (Sûreté, Surveillance, Supervision) du GdR Automatique.
 - Depuis juin 2002, participant au groupe "Ingénierie de la Maintenance pour la Performance Globale" du club du Génie Industriel (initiative du Pr. N. Zerhouni du LAB).
- Niveau Européen et International
 - Membre nommé par la SEE en 2001 puis reconduit pour la période 2003-2005, au comité technique "TC4.2 Mechatronic Systems" de la société scientifique internationale IFAC (Chair: R. Goodall (UK)).
 - Membre nommé par la SEE pour la période 2003-2005, au comité technique "TC4.4. Low Cost Automation" de la société scientifique internationale IFAC (Chair. H. Erbe (Germany)).
 - Co-responsable scientifique avec le Pr. Monostori L. (SZATKY – Hongrie) du SIG2 (special interest group on Manufacturing scheduling and control in the extended enterprise) du réseau d'excellence Européen en IMS n° IST-2001-65001 (proposé en IMS-2001-00002) (2002-2005).

2. Organisation et invitations dans des manifestations avec comité de lecture et actes

- Participation à des comités de programmes (11)
 - **IMS-EUROPE'98**, 1st open workshop of the IMS working group on Intelligent Manufacturing Systems ; Lausanne, Switzerland, 1998 ; Chairman'98: Pr. Xirouchakis P., Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Switzerland
 - **IMS-EUROPE'99**, 2nd open workshop of the IMS working group on Intelligent Manufacturing Systems, Leuven, Belgium, 1999, Chairmen'99: Pr. Van Brussel H. and Dr. Valckenaers P., K.U. Leuven, Belgium.
 - 6th **IFAC IMS 2001**, Poznan, Poland, April 24-26 2001, Chairman: Pr. Kasinski
 - 7th **IFAC IMS 2003**, Budapest, Hungary, April 2003, Chairman: Pr. Monostori
 - 1st **CENNET workshop** on Digital Manufacturing and Business, April 14-15, 2002 – Friendship Hotel – Beijing – China, Chairmen: Pr. Doumeingts (Univ. Bordeaux), Pr Wu (Tsinghua University).

- 2nd **CENNET workshop** on Digital Manufacturing and Business, April, 2003 – Shenzhen, South of China. Chairmen: Pr. Doumeingts (Univ. Bordeaux), Pr. Xu (Harbin Institute of Technology).
 - The **8th Mechatronics Forum** (Mechatronics 2002) - International Conference, 24th - 26th June 2002, University of Twente, Enschede, Netherlands, Chairman: Pr. Job van Amerongen (TUE).
 - 2nd **IFAC Conference on Mechatronic Systems**, Berkeley (USA) December 19-21, 2002, Chairman: Pr. Masayoshi Tomizuka (Berkeley).
 - 5^{ème} congrès International Pluridisciplinaire **Qualita 2003** – Qualité et Sûreté de Fonctionnement – 19-21 Mars 2003 – Nancy (France), Chairman: Pr J. F. Aubry.
 - Colloque Francophone **PENTOM2003** (Performances et Nouvelles Technologies en Maintenance), 27-29 Mars 2003, Valenciennes (UVHC), organisation O. Sénéchal.
 - **IMS2003**, Intelligent Maintenance System, 25-27 October 2003, Xian (China), Chairmen: Pr Xie Youbai & Pr. Jay Lee
- Organisations de workshops et séminaires (6)
- **Responsable** de l'organisation de la 4^{ème} revue européenne du projet **ESPRIT III PRIAM** (Prenormative Requirements for Intelligent Actuation and Measurement) à Nancy en Décembre 1995.
 - **Responsable** de l'organisation du 4^{ème} **workshop de l'IMS-WG** (projet ESPRIT de LTR n°21955) en Septembre 1998 à Nancy (environ 30 participants).
 - **Participation** au comité d'organisation du 9^{ème} Symposium **IFAC-INCOM'98**, "INformation Control in Manufacturing"; chairman: Pr. G.Morel. Date: 24-26 juin 1998, Lieu: Nancy & Metz.
 - **Responsable** du comité d'Organisation avec le Dr. Zhang Heming (Tsinghua University) du **1st CENNET workshop** on Digital Manufacturing and Business, April 14-15, 2002 – Friendship Hotel – Beijing – China.
 - **Responsable** du comité d'Organisation avec le Pr. Xu (HARBIN Institute of Technology) du **2nd CENNET workshop**, April, 2003 – Yangqu, China.
 - **Participation** au comité d'organisation du 5^{ème} congrès International Pluridisciplinaire **Qualita 2003** – Qualité et Sûreté de Fonctionnement – 19-21 Mars 2003 – Nancy (France), Chairman: Pr J. F. Aubry.
- Organisations de thème et sessions invités (3)
- **Co-président** avec le Pr. G. Morel du **thème scientifique Intelligent Manufacturing and Process System Engineering**, session plénière 4; 6 conférenciers invités – 5 sessions du 9th Symposium **IFAC-INCOM'98**, chairman: Pr. G.Morel. Date: 24-26 juin 1998, Lieu: Nancy & Metz.
 - **Co-organisation** avec le Pr. L. Monostori (SZATKY- Hungaria) d'une **session invitée** au 10th symposium **IFAC – INCOM01** (Sept 20-22, 2001, Vienna, Austria). Session intitulée: "Challenges and Issues of Intelligent Manufacturing Systems Automation" et composée de 5 papiers (KU-Leuven, LAP, CRAN, SZATKY, Politecnico di Torino).
 - **Co-organisation** avec le Pr. G. Morel d'une **session invitée** au **IFAC World Congress** (July 2002, Barcelona, Spain) Session intitulée: "Challenges and issues of Intelligent Manufacturing Systems Automation" et composée de 6 papiers (KU-Leuven, Politecnico di Milano, ...)
- Conférences invitées (5)
- **Workshop ESPRIT-CIM**: CIM in the Process Industry, organised by the Athens Chamber of Commerce and Industry, the CEC, DGXIII and ESPRIT projects, June 20-21, 1991, Athens, Greece.
 - **25th BIAS-Automation'93** International Conference, 23-25/11/93, Milan, Italy.
 - Second **ICEIMT'97** International Conference on Enterprise Integration and Modeling Technology, 28-30/10/1997, Torino, Italy.
 - **MCPL'2000**, 2nd IFAC Conference on Management and Control of Production and Logistics, 5-8 July 2000, Grenoble, France.
 - 6th IFAC Symposium on Cost Oriented Automation (**Low Cost Automation 2001**). October 8-9 2001, Berlin, Germany.

- Présidence de sessions (4)
 - Co-président de session au congrès **ISA AIAI'95**: 2nd International Conference on Industrial Automation, Nancy, France, 1995, Chairman: Pr. Humbert C., Université Henri Poincaré, France, Nancy, 7-9 Juin 1995.
 - Président de la session "Intelligent Control" à la 1^{ère} conférence **IMS-Europe 98** - Lausanne (Suisse) en Avril 1998.
 - Président de la session "Virtual Factory" au 6th Workshop on Intelligent Manufacturing System-**IMS2001**, Avril 24-26, Poznan, Poland.
 - Co-présidence avec le Pr. L. Monostori (SZATKY- Hungaria) d'une session invitée au 10th symposium **IFAC – INCOM01** (Sept 20-22, 2001, Vienna, Austria) Session intitulée: "Challenges and Issues of Intelligent Manufacturing Systems Automation".
- Invité comme speaker pour une table ronde (1)
 - Invité par le Pr. Fouad RIANE pour la table ronde "La maintenance comme vecteur de compétitivité dans la nouvelle économie", 2/10/2000, Workshop international **WPPC'2000** (Workshop on Production Planning and Control) organisé par le FUCAM, Mons, Belgium.

3. Critiques scientifiques

- Conférences (évaluation de papiers autres que pour les conférences mentionnées dans la "participation à des comités de programme")
 - Conférence **IFAC-MCPL'2000**: 2nd Conference on Management and Control of Production and Logistics, 5-8 July 2000, LAG, Grenoble, France.
 - Conférence 5th World Multi-Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics (**SCI 2001**), July 22-25, 2001, Orlando, Florida USA.
 - Conférence 6th World Multi-Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics (**SCI 2002**), July 14-18, 2002, Orlando, Florida USA.
 - Conférence 7th World Multi-Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics (**SCI 2003**), July 27-30 2003, Orlando, Florida USA.
 - 10th symposium IFAC – **INCOM01**; Sept 20-22, 2001, Vienna, Austria.
 - 6th IFAC Symposium on Cost Oriented Automation (**Low Cost Automation 2001**); October 8-9 2001, Berlin, Germany.
 - **MSR'2001**, Colloque Francophone sur la Modélisation des Systèmes Réactifs.
 - **15th IFAC World Congress** (Barcelona, Spain, July 21-26 2002), pour les sessions "Mechatronic".
- Revues
 - Revue **JESA** en 2000 et 2001 (European Journal of Automation)
 - Journal "**Production Planning and Control**", special issue on "Application of Multi-agent Systems to Production Planning and Control", à la demande de Sergio Cavalieri du Polytechnico Di Milano. Décembre 2001.
 - Journal "**Computers in Industry**", special issue on "Soft Computing in Industrial Applications"; à la demande de Stefan Preitl and Laurent Foulloy; Guest Editors of the SOF issue. Mai 2002.
 - Journal "**Computers in Industry**", à la demande de Frans A. Mouws (Editorial Office Manager). Octobre 2002.
 - Journal "**Energy- The International Journal**" – Elsevier Science, à la demande du Pr. Noam Lior Editor in Chief. Janvier 2003

4. Prix aux chercheurs encadrés

- Léger J.B.; Lauréat du concours régional Entreprendre'98 et Lauréat de la Meilleure Concrétisation du concours régional Entreprendre'99; Lauréat du concours national d'aide à la création d'entreprises de technologies innovantes, catégorie "projets en émergence", 1999.

5. Consultance – Expertise

- EIAM USER GROUP: membre du groupe d'experts chargés de promouvoir au plan international les travaux des 5 projets ESPRIT 2172-6188-8244-20174-23525 en Actionnement et Mesure Intelligents ; 1994-98.
- Expertise dans le cadre du projet **PRIMA** n°20775 – Workpackage 4 (collaboration avec REMAFEX) à la demande d'ELF-ATOCHEM (La Défense) - Septembre 1997.
- Expertise d'un projet de recherche et transfert de technologie, **conseil régional de Midi-Pyrénées**, sollicitation de Messieurs Costes et Cazaux, responsables du CCRRDT, programme V1, Avril 2000.
- Expertise d'un projet de recherche et transfert de technologie 2002-2003, **conseil régional de Midi-Pyrénées**, sollicitation de Messieurs Dexpert et Cazaux, responsables du CCRRDT, Mars 2002.

Valorisation

1. Projets ou contrats de recherche passés

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

PE1 **ESPRIT II-2172 DIAS** (Distributed Intelligent Actuators and Sensors), 1989-1992, en tant que sous traitant d'EDF pour la formalisation d'un modèle de connaissance de contrôle d'un système AMI puis le développement et l'expérimentation de prototypes d'Actionneurs Intelligents. Résultats du projet sont à la base de la thèse de B. lung.
Effort: 1100 hommes_mois (l'investissement CRAN est assimilable à 36 hommes_mois)

PE2 **COMETT** - Morel G., Lhoste P., Panetto H., **lung B.**, "*Automatisation Engineering*". Formation Européenne COMETT Ca 93 n°93/1/7609 animé par le CRAN, l'AIPL et l'AUEF Lorraine. Mai 16-20, 1993.
Responsable: Panetto H.
Transfert technologique des résultats de R&D en Ingénierie d'Automatisation développés dans les différents projets Européens.

PE3 **ESPRIT III-6188 PRIAM** (Prenormative Requirements for Intelligent Actuation and Measurement); 1993-96
Partenaires: EDF (F), ENEL (I), CRAN/GSIP (F), MONTEFIBRE (I), EDP (P), SEMA GROUP (F), HARTMANN & BRAUN (D), MENTEC (IRL), BAILEY ESACONTROL (I), SEMA GROUP BELGIUM (B)
Effort: 755 hommes_mois Effort CRAN: 51 hommes_mois (180 kEuros)

lung B.: Leader des Workpackages 4 et 6.

lung B., Morel G., Organisation de la 4^{ème} **revue européenne** du projet PRIAM à Nancy en Décembre 1995.

lung B., "*Présentation de la tâche T4.1. à la revue n°1 du projet ESPRIT III PRIAM n°6188 - Prenormative Requirements for Intelligent Actuation and Measurement -*", Revue 1 PRIAM, CEE Bruxelles (BELGIQUE), 13 Janvier 1993.

lung B., "*Présentation du WP6 à la revue n°3 du projet ESPRIT III PRIAM n°6188 - Prenormative Requirements for Intelligent Actuation and Measurement -*", Revue 3 PRIAM, CEE Bruxelles (BELGIQUE), 10 Mars 1994.

Morel G., **lung B.***, "*Présentation du WP4 et de l'outil PRIAM à la revue n°4 du projet ESPRIT III PRIAM n°6188 - Prenormative Requirements for Intelligent Actuation and Measurement -*". Revue 4 PRIAM, Nancy (FRANCE), 12 Décembre 1995.

RPE1 **lung B.**; "*D6.1. Specification of the PRIAM tool*", Projet PRIAM - 8 Janvier 1994 - Réf. WP6/010/Rev. 2 (80 pages)

RPE2 **lung B.**, "*D6.3. Validation of the PRIAM tool*". Projet PRIAM - 28 Octobre 1994 - Réf. WP6/030/Rev. 2 (30 pages)

RPE3 **lung B.**, Masset C., Mella A., "*D4.1. Validation by simulation of IAT Functional Companion Standards*", Projet PRIAM - Avril 1995 - Réf. WP4/010/Rev. 2 (30 pages + Annexes)

RPE4 **lung B.**, Lhoste P., Morel G., "*D14.1. Intelligent PRIAM Dissemination*". Projet PRIAM - 29 Mai 1995 - Réf. WP14/010/Rev. 2 (25 pages + Annexes)

PE4 **ESPRIT III-8244 EIAMUG** (European Intelligent Actuation and Measurement User Group)
Partenaires: participants du projet ESPRIT III n° 6188 PRIAM + 80 représentants académiques et industriels européens ; 1995-97

Promotion des résultats de PRIAM pour proposer une standardisation des composants intelligents

Effort: 30 hommes_mois

Effort CRAN: 2 hommes_mois (10 kEuros)

lung B.: Participation avec G. Morel pour le CRAN a la définition des objectifs de ce projet.

PE5 **ESPRIT IV-20874 REMAFEX** (REmote MAintenance for Facility EXploitation)

Partenaires: SEMA-GROUP (F), CRAN-GSIP (F), AEROPORT-SATOLAS (F), EDP (P), IBERDROLA (SP), EFFI (N) ; 1996-99

Effort: 671 hommes_mois Effort CRAN: 48 hommes_mois (250 kEuros)

lung B.: Co-responsable scientifique avec G. Morel pour le CRAN dans ce projet. Leader des Workpackages 2 et 9.

lung B., "*Présentation du document D2.2. à la revue n°1 du projet ESPRIT IV n° 20874 - Remote MAintenance for Facility EXploitation-*", Revue 1 REMAFEX, CEE Bruxelles (BELGIQUE), 20 Février 1997.

RPE5 Pinoteau J., **lung B.**, Léger J.B., "*D1.3. REMAFEX terminology*", Projet REMAFEX - Avril 1996 - Réf. WP1/D1.3.doc (40 pages)

RPE6 **lung B.**, Léger J.B., "*D2.2. REMAFEX Way of Working*". Projet REMAFEX - Janvier 1997 - Réf. WP2/D22/D2.2.doc (35 pages + Annexes).

RPE7 Gilquin H., Léger J.B., **lung B.**, "*D8.4. Distributed maintenance System: Application. Distributed Maintenance System Expandability Possibilities in Airport*". Project REMAFEX. March 1999.

RPE8 Stene B., **lung B.**, Morel G.; *Maintenance reference model of an expandable DMs architecture*; Projet REMAFEX, Deliverable n°8.2, 01/1999

RPE9 **lung B.**, Morel G.; *Dissemination of the REMAFEX methodology*; Projet REMAFEX, Deliverable n°9.1, 04/1999.

PE6 **ESPRIT IV-20775 PRIMA** (Process Industries Manufacturing Advantage)

Partenariat privilégié entre PRIMA et REMAFEX via une collaboration entre SEMA-GROUP, CRAN et ELF-ATOCHEM dans le cadre du Workpackage 4.

Effort CRAN: 3 hommes_mois (15 kEuros)

lung B.: Responsable scientifique pour le CRAN dans ce partenariat

RPE10 **lung B.**, Léger J.B., "*Particularisation and validation of the PRIMA-WG4 generic equipment monitoring model with specific hydroelectric set components and sub-components requirements*", PRIMA-REMAFEX Collaboration, Référence REMAFEX-PRIMA001, Septembre 1997

RPE11 **lung B.**, Léger J.B., "*Improvement of the PRIMA-WP4 generic Equipment Monitoring Model to propose a generic predictive maintenance model*", PRIMA-REMAFEX Collaboration, Référence REMAFEX-PRIMA002, Décembre 1997

PE7 **ESPRIT IV-21955 IMS-WG**

Participants: K. U. LEUVEN (B), ABB (S), CRAN (F), DAIMLER-BENTZ (D), EPFL (CH), VTT (SF), UNIV. PATRAS (GR), et 13 participants académiques et industriels

Coût global: 520 kEuros Coût CRAN: 17 kEuros

lung B.: Responsable scientifique pour le CRAN dans ce working group

lung B., Morel G., Petin J.F. ; Working Group in Intelligent Manufacturing System, 1997-2000
Coordinator: Pr. Van Brussel H. and Dr. Valckenaers P., Katholieke Universiteit Leuven, Belgium

PE8 **INCO-DC N°96-1744 EIAM-IPE** (European Intelligent Actuation and Measurement – International promotion and Exploitation) ; 1997-99
Partenaires: SEMA-GROUP (F), CRAN-GSIP (F), APAX (U.K.), HUST (China)
Coût global: 150 kEuros Coût CRAN: 35 kEuros

lung B.: Co-responsable scientifique avec G. Morel pour le CRAN dans ce projet.
Responsable du programme de formation et de son développement en Europe.

Morel G. *, **lung B.***, CMMS-IAMS'98 seminar, 09-13/03/1998, Wuhan (China).

lung B., *CMMS-IAMS methodological and technological European training: report*; final review of the EIAM-IPE project (INCO-DC n°961744), Karlsruhe, 8th October, 1999.

RPE12 **lung B.**, Morel G.; *Chinese IAMS-CMMS'98 seminar report*, Deliverable n°1, EIAM-IPE n°961744 project, April 1998.

RPE13 **lung B.**, Morel G., Lhoste P.; *European training program and report*, Deliverable n°3; EIAM-IPE n°96-1744 project, September 1998.

RPE14 **lung B.**, Morel G., Lhoste P.; *Transfer of the European CMMS-IAMS Education and training to China*; Deliverable n°4, EIAM-IPE n°96-1744 project, September 1998

PE9 **LEONARDO DA VINCI DEFITRA** FIN/96/2/0435/PI/II.1.1.C *DEvelopment of FieIdbus TRAIning*

Partenaires: POHTO (FI), University of OULU (FI), L-LARK (FI), IFAK (D), CRAN-GSIP (F)
Mayer F., Morel G., **lung B.**, Morel D., Neunreuther E. 30 mois (1997-1999)

Effort: 60 hommes_mois Effort CRAN: 6 hommes_mois (25 kEuros)

- Projet Régional avec comité d'évaluation et rapports ou communications

PR1 REGION LORRAINE

Partenaires: CRAN, CRIN (LORIA), ENSGSI, GREEN, LAEI (METZ)

Morel G., Petin J.F., **lung B.**; *Projet fédérateur de Recherche "Sûreté Industrielle des Systèmes", Opération 01 – Conception Coordonnées de systèmes industriels sûrs et de qualité, 1994-98*

- Contrats industriels sans comité d'évaluation et avec rapports

Nb: Le coût global de l'ensemble des contrats industriels menés en partenariat avec l'EDF est de l'ordre de 400 kEuros

RAP1 Roesch M., Morel G., **lung B.**, Aubry J.F.; "Modélisation du cycle de vie d'une centrale de production d'électricité"; Rapport de contrat N° P31/2J1598 passé entre l'EDF/DER de Chatou et le CRAN (EACN + LAUT), Décembre 1988.

RAP2 Roesch M., Morel G., **lung B.**, Aubry J.F.; "Recherche et évaluation des outils d'aide à la conception et à la réalisation d'automatismes, disponibles actuellement sur le marché"; Rapport de contrat N° P31/2J2535 passé entre l'EDF/DER de Chatou et le CRAN (EACN + LAUT); Juin 89.

RAP3 **lung B.**, Roesch M., Morel G., Aubry J.F.; "Analyse fonctionnelle des automatismes de conduite, de maintenance et de gestion technique des Actionneurs TOR Intelligents: Définition d'un cycle de vie et d'une organisation fonctionnelle"; Rapport de contrat N° P37/2J6747 passé entre l'EDF/DER de Chatou et le CRAN-EACN en parallèle du projet européen ESPRIT-DIAS; Janvier 90.

RAP4 **lung B.**, Roesch M., Morel G., Aubry J.F.; "Spécification détaillée et validation fonctionnelle des automatismes de Conduite, de maintenance et de gestion technique des Actionneurs TOR Intelligents: Formalisation du modèle de référence DIAS"; Rapport de contrat N° P37/2J6748 passé entre l'EDF/DER de Chatou et le CRAN-EACN en parallèle du projet européen ESPRIT-DIAS; Juin 90.

RAP5 **lung B.**, Roesch M., Morel G., Aubry J.F.; "Prototypage du modèle de référence DIAS aux cas des vannes intelligentes T.O.R. de type 145VV, 70VV et 62VV pour le maquettage puis l'expérimentation sur site au HAVRE"; Rapport de contrat N° P37/2J6918 passé entre l'EDF/DER de Chatou et le CRAN-EACN en parallèle du projet européen ESPRIT-DIAS; Rapport de fin de première phase; Décembre 90.

- RAP6 **lung B.**, Morel G, Roesch M., "Prototypage du modèle de référence DIAS au cas de la vanne réglante 50VLbis pour le maquettage puis l'expérimentation sur site au HAVRE"; Rapport de contrat N° P37/2J6918 passé entre l'EDF/DER de Chatou et le CRAN-EACN en parallèle du projet européen ESPRIT-DIAS; Rapport de fin de deuxième phase; Septembre 91.
- RAP7 Pétin J-F., **lung B.**, Morel G.; "*Actionneurs Intelligents: évaluation technique et économique pour l'insertion dans les centrales*"; Rapport de contrat n° P37/2K1090 passé entre l'EDF/DER de Chatou et le CRAN-EACN en parallèle du projet européen ESPRIT-DIAS; 4 notes de synthèse; Septembre 92.
- RAP8 Petin J-F., Neunreuther E., **lung B.**, Morel G. ; *Modélisation des activités pour la description et l'élaboration des diagrammes fonctionnels* Rapport de contrat n° P37/2L1834 passé entre l'EDF/DER de Chatou et le CRAN-EACN ; 2 Volumes, 1994.
- RAP9 Neunreuther E., Pétin J-F., **lung B.**, "*Spécification de blocs fonctionnels élémentaires EDF dans le formalisme ST de la norme IEC 1131-3*". Contrat n° P31/2L5948, date de fin: Juillet 94 , passé entre l'EDF/DER de Chatou et le CRAN-GSIP.
- RAP10 Neunreuther E., Panetto H., Pétin J-F., **lung B.**, "*Méthodologie de validation d'une bibliothèque de blocs fonctionnels élémentaires*". Contrat n° P31/2M1347, date de fin: juin 95, 2 volumes, passé entre l'EDF/DER de Chatou et le CRAN-GSIP.
- RAP11 Chabassier R., Panetto H., **lung B.**, "*Vérification comportementale des blocs fonctionnels élémentaires EDF hors implémentation*". Contrat n° P31/2M3893, date de fin: décembre 95, 2 volumes, passé entre l'EDF/DER de Chatou et le CRAN-GSIP.
- RAP12 Léger J.B., Morel D., **lung B.**, Morel G., contrat UNI2000/020 entre PREDICT et CRAN-UHP Nancy I, contrat réalisé dans la cadre de l'ANVAR et ayant pour objet une étude de faisabilité technique du produit CASIP, contrat de 190 kF et d'une durée de 5 mois entre septembre 99 et janvier 2000. Document 'Définition des orientations technologiques du produit innovant DIATEC (solutions de maintenance prévisionnelle) délivré en Avril 2000.

2. Protocoles de collaboration et de recherche

Protocole de collaboration entre l'UHP-Nancy I et **HUST** (Chine) initié dans le cadre de la convention de co-tutelle de LIU Yongqian (1998-2002) et prolongé à travers l'accueil post-doctoral ou ponctuel d'étudiants Chinois. Collaboration initiée par Morel G., **lung B.**, Ye Luqing et Li Zhaohui.

3. Projets ou contrats de recherche en cours

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

PE10 EUREKA ROBCRANE E!1968 (overhead crane bridge intelligent control system).
Partenaires: Université de Cracovie (Pologne), PPUH-EKO Energia (Pologne), VitKovice (République Tchèque), Scottish Maintenance Centre (UK), PREDICT (avec sous - traitance CRAN), EUROTEC MULTI MEDIA (France).

Durée: 35 mois de 2000 à 2002 – La partie Française a rallié le projet en Mai 2001 pour une durée de 18 mois.

Sous-traitance CRAN: 510 kF (projet total 1,9 Meuros, partie Française 0,49Meuros)

lung B.: Co-responsable scientifique avec G. Morel, D. Sauter, H. Nourra pour le CRAN dans ce projet

PE11 ESPRIT V – CENNET (CHINESE EUROPEAN NETWORK ON THE NET) n° IST-2000-28739

Partenaires:

GRAISOFT (F), CIMRU – National University of Ireland(IRELAND); CRAN (F), ITIA – CNR (I), RPK Karlsruhe University (G), SEMA Group (F), Tsinghua University (CN), HUST (CN), Nanjing University of Science and Technology(CN), Xian Jiaotong University (CN), Harbin Institute of Technology (CN), Beijing University of Aeronautics and Astronautics (CN).

Durée: Novembre 2001 – Avril 2003. Financement total: 570 k Euros

Financement CRAN: 37250 Euros

lung B.: Co-responsable scientifique avec G. Morel pour le CRAN dans ce projet. Participation à la définition des objectifs du projet et à la rédaction de la proposition. Leader du WP1.

lung B., "Présentation du document D1.1. à la revue n°1 du projet CENNET", Revue 1 CENNET, CEE Bruxelles (BELGIQUE), Mai 2002.

lung B., Responsable du comité d'Organisation du 1st CENNET workshop on Digital Manufacturing and Business, April 14-15, 2002 – Friendship Hotel – Beijing – China

RPE15 **lung B.**, *Proceedings and final report of the WP1*, Deliverable D1.1., July 2002.

PE12 ESPRIT V – IMS-NOE (INTELLIGENT MANUFACTURING SYSTEMS - NETWORK OF EXCELLENCE) n° IST-2001-65001 (proposal in IMS-2001-0002)
(Projet en Thematic Network)

Partenaires:

Environ 80 partenaires dont les principaux sont CPI Italy, BIBA Germany, K.U. Leuven R&D Belgium, PROFACTOR Austria, ALFAMICRO LDA Portugal, Baan The Netherlands, POLIMI-DEP Italy, UHP-CRAN France, MTA SZTAKI Hungary, TNO The Netherlands, Chalmers Sweden, UNIBG Italy, SINTEF Norway, EPFL Switzerland, WZL Germany, TUE The Netherlands.

Durée: Juin 2002 – Juin 2004.

Financement total: 600000 Euros Financement CRAN: 37250 Euros

lung B.: Responsable scientifique pour le CRAN dans ce réseau. Participation à la définition des objectifs du projet et à la rédaction de la proposition. Co-leader du SIG2.

- Projet Régional avec comité d'évaluation et rapports ou communications

PR2 REGION LORRAINE

Contrat de Plan Etat-Région 2000-2006

Projet "Automatisation et Prévention des Risques" du Pôle "Sûreté Industrielle et Déchets"

Partenaires: CRAN (INPL et UHP) porteur du projet, LORIA (INPL et UHP), ENSAM (Metz), Pergolab (Université de Metz), Institut Elie Cartan (UHP), CREDES Université Nancy 2.

lung B., Morel G.; Participation au Projet et plus particulièrement au groupe de travail B "Nouvelles formes de relation entre l'homme et les automatismes dans les systèmes enfouis et dormants", 2001-2004.

Références Bibliographiques

- (Alan, 1990) E.Alan (1990). Beyond CIM:Bionic Manufacturing Systems in Japan IEEE EXPERT, **Vol. 8**, N°5, pp.78-81.
- (Albus, 1991) Albus J.S. (1991). Outline for a theory of Intelligence. IEEE transactions on Systems, Man and Cybernetics, **Vol. 21**, n°3, pp 473-509.
- (Albus, 1993) Albus J.S. (1993). A Reference Model Architecture for Intelligent Systems Design. In An Introduction to Intelligent an Autonomous Control (P.J. Antsaklis, M.P. Passino eds.), Kluwer academic publishers, ISBN 0-1929-9267, pp. 27-56.
- (Antsaklis, 1994) Antsaklis P. (1994). Defining Intelligent Control. In: Proceedings of the IEEE International Symposium on Intelligent Control, Columbus, Ohio, USA
- (Bayart, 1994) Bayart M. (1994). Instrumentation Intelligente – Systèmes Automatisés de Production à Intelligence Distribuée. Habilitation à diriger des recherches de l'Université des Sciences et Technologies de Lille, Décembre.
- (Belhimeur 1989) Belhimeur A. (1989). Contribution à l'étude d'une méthode de conception des automatismes des systèmes de conduite des processus industriels. Thèse de doctorat en Automatique, Université des Sciences et Techniques de Lille.
- (Berger, 1998) J. Berge (1998). Fieldbus advances diagnosis. Intech: The International Journal For Measurement and Control, ISA, April, pp. 52-56.
- (Bierel, 1998) Bierel E. (1998). Contribution à l'intégration des modèles de Systèmes de Production Manufacturière par méta-modélisation. Prototypage d'un environnement multi-modèles. Thèse de Doctorat de l'Université Henri Poincaré, spécialité Production Automatisée.
- (Bonabeau et al., 1995) Bonabeau E., Dessalles J.L., Grumbach A. (1995). Characterizing emergent phenomena, a critical review. Revue internationale de Systémique, **Vol. 9**, N°3, pp. 327-346.
- (Bongaerts et al., 2000) Bongaerts L., Monostori L., Mac Farlane D., Kadar B. (2000). Hierarchy in distributed shop floor control. Computers in Industry. **Vol. 43**, pp 123-137.
- (Brown et al., 1995) Browne J., Sackett P.J., Wortmann J.C. (1995). Future Manufacturing Systems – towards the extended Enterprise. Computers in Industry. **Vol. 25** (3), pp 253-254.
- (Bussmann, 1998) Bussmann S. (1998). An agent-Oriented Architecture for Holonic Manufacturing Control. In: Proceedings of the 1st International Workshop on IMS-Europe98, pp1-12, Lausanne, Switzerland, 15-17 April.
- (Bylander et al., 1991) Bylander T., Allemang D., Tanner M.C., Josephson J. R. (1991). The Computational Complexity of Abduction. Artificial Intelligence **Vol. 49** (1). pp 25-60.
- (Chaillet-Subias, 1995) Chaillet-Subias A. (1995). Approche multi modèles pour la commande et la surveillance en temps réel des systèmes à événements discrets", Thèse de doctorat de l'Université de P. Sabatier de Toulouse, option Informatique Industrielle.
- (Chen et Vernadat, 2001) Chen D., Vernadat F. (2001). In: Proceedings 10th IFAC INCOM'01 Symposium on Information Control problems in Manufacturing. (Vienna, Austria). ifacpubs@elsevier.co.uk: Elsevier Sciences. IFAC Publications.
- (Christensen, 1994) Christensen J.H. (1994). Holonic Manufacturing Systems: Initial architecture and standards directions. In: Proceedings of the first European Conference on holonic manufacturing systems. Hannover, Germany, 01-12.
- (Christie, 1999) Christie A.M. (1999). Simulation in support of CMM-based process improvement. The journal of Systems and Software. **Vol. 46**. pp 107-112.
- (Combacau, 1998) Combacau M. (1998). Contribution à la surveillance hiérarchisée des systèmes complexes. Habilitation à diriger des recherches. Université Paul Sabatier de Toulouse. Juillet.
- (Console et Torasso, 1992) Console L., Torasso P. (1992). A spectrum of logical definitions of model-based Diagnosis. Readings in Model Based Diagnosis. pp78-88. Morgan Kaufmann. ISBN 1-55860-249-6.

- (Corbier, 1989) Corbier F. (1989). Modélisation et Emulation de la Partie Opérative pour la recette en plate-forme d'Equipements Automatisés, Thèse de doctorat de l'Université de Nancy I, option Production Automatisée.
- (Coudert, 2000) Coudert T. (2000). Apport des systèmes multi-agents pour la négociation en ordonnancement: application aux fonction de production et maintenance. Thèse de doctorat de l'INP de Toulouse, spécialité systèmes industriels. Décembre.
- (Couffin, 1997) Couffin F. (1997). Modèle de données de référence et processus de spécialisation pour l'intégration des activités de conception en Génie Automatique. Thèse de doctorat de l'Ecole Normale Supérieure de Cachan.
- (De Kleer et Williams 1987) De Kleer J. et Williams B. C. (1987). Diagnosing Multiple Faults. *Artificial Intelligence*, **Vol. 32** (1):97-130.
- (Demarest, 1997) Demarest M. (1997) Understanding Knowledge Management, Long Range Planning, **Vol. 30**, Issue 3, pp 321-322
- (Deming, 1986) Deming (1986). Deming W.-E. Out of the crisis, Ed. The Massachusetts Institute of Technology, ISBN 0-911379-01-0, 1986.
- (Doumeingts, 1984) Doumeingts G. (1984). GRAI, Méthode de Conception et de Spécifications des Systèmes de Productique. Thèse de docteur d'état de l'Université de Bordeaux I.
- (Duffie et al., 1994) Duffie, A. Neil, and Prabhu (1994) Real Time Distributed Scheduling of Heterarchical Manufacturing. *Journal of Manufacturing Systems*, **Vol. 13**, N°2, p.94.
- (Dulmet et Lhote, 2001) Dulmet M., Lhote F. (2001). Analyse et caractérisation des couplages entre processus dans les systèmes de production. *APII-JESA*, **Vol. 35**, n°10 pp 1193-1214.
- (Durand, 1979) Durand D. (1979). La Systémique. collection que sais-je ? Presses universitaires de France, ISBN 2-13-044622-1.
- (Féliot, 1997) Féliot C. (1997). Modélisation de systèmes complexes: intégration et formalisation de modèles. Thèse de Doctorat, spécialité Automatique et Productique, Université des Sciences et Technologies de Lille.
- (Ferber, 1994) Ferber J. (1994). La kénétique: des systèmes multi-agents, à une science de l'interaction. *Revue Internationale de systémique*, **Vol. 8**, N°1, pp13-14.
- (Ferber, 1995) Ferber J. (1995). Les systèmes multi-agents, vers une intelligence collective. InterEditions, Paris, ISBN 2 7296 0572 X.
- (Fox et al., 1996) Fox M. S., Barbucaeanu M., Gruninger M. (1996). An organisation ontology for enterprise modelling: Preliminary concepts for linking structure and behaviour. *Computers in industry*. **Vol. 29**. pp 123-134.
- (Frachet, 1987) Frachet J.P. (1987). Une introduction au Génie Automatique: Faisabilité d'une chaîne d'outils CAO pour la conception et l'exploitation des machines automatiques industrielles. Thèse de doctorat d'Etat es-Sciences Physiques, Université Nancy I. Janvier.
- (Galara et Hennebicq, 1999) Galara D., Hennebicq J.P. (1999). Process Control Engineering Trends. *Annual Reviews in Control*. **Vol. 23**. pp 1-11.
- (Galara, 1986) Galara D. (1986). Elaboration d'informations crédibles pour les systèmes de contrôle-commande industriels: Les modules Fonctionnels d'Automatismes. Rapport interne EDF/DER Chatou, HP 31/86-14.
- (Gruber, 1993) Gruber T.R. (1993). Toward principles for the design of ontologies used for knowledge sharing. In *Formal Ontology in Conceptual Analysis and Knowledge Representation* (N. Guarino and R. Poli, eds.), Kluwer Academic Publishers.
- (Habrias, 1995) Habrias H. (1995). Les paradigmes des méthodes d'analyse et de conception. Rapport de recherche IRIN – 102. Octobre.
- (Heiler, 1995) Heiler (1995). Semantic Interoperability. *ACM Computing Surveys*, **Vol. 27**, N°2, pp. 271-275.
- (Hollocks et al., 1997) Hollocks B.W., Goranson H.T., Shorter D.N., Vernadat F.B. (1997). Assessing Enterprise Integration for Competitive Advantage – Workshop 2, Working Group 1. In: *Proceedings of ICEIMT'97. Enterprise Engineering and Integration: Building International Consensus*, (K. Kosanke, J.G. Nell eds.), pp. 96-107, ISBN 3-540-63402-9.
- (Hyacinth, 1996) Hyacinth, N. (1996). Software Agents: An Overview. *Knowledge Engineering Review Journal*, **Vol. 11**(3).
- (Iserman, 1996) Isermann R. (1996). Information processing for mechatronic systems. *Robotics and Autonomous Systems*, **Vol. 19** (2), pp 117-134.

- (Iserman, 1999) Isermann R. (1999). Modelling, Identification and Simulation of Mechatronic Systems. In: Proceedings of the 14th World Congress of IFAC, Beijing – China, ISBN: 0 08 043248 4
- (Jardine et Campbell, 2001) Jardine, A. et Campbell J. (2001). Maintenance Excellence: Optimizing Equipment Life-Cycle Decisions. Mechanical Engineering, **Vol. 135**.
- (Katayama, 1997) Katayama H., Bennet D. (1997). Agility, adaptability and leanness: A comparison of concepts and a study of practice. International Journal of Production Economics. **Vol. 60-61**, pp 43-51.
- (Koestler, 1989) Koestler A. (1989). The gost in the machine. Arakana Books.
- (Kosanke, 1995) Kosanke K. (1995). CIMOSA – Overview and status. Computers in industry. **Vol. 27**. pp 101-109.
- (Kraus et al., 1995) Kraus S., Wilkenfeld J., Zlotkin G., (1995). Multi-agent negotiation under time constraints. Artificial Intelligence. **Vol. 75**, pp 297-345.
- (Kusiak, 1990) Kusiak A. (1990). Intelligent Manufacturing Systems. Prentice- Hall Inc.
- (Küssel et al., 2000) Küssel R., Liestmann V., Spiess M., Stich V. (2000). "Teleservice" a customer oriented and efficient service. Journal of Material Processing Technology. **Vol. 107**, pp 363-371
- (Lamboley, 2001) Lamboley P. (2001). Proposition d'une méthode formelle d'automatisation de systèmes de production à l'aide de la méthode B. Thèse de doctorat de l'Université Henri Poincaré – Nancy I, Spécialité Production Automatisée.
- (Langer, 1999) Langer G. (1999). HoMuCS, A Methodology and architecture for Holonic Multi-cell Control Systems. PH.D. Thesis, Department of manufacturing Engineering, technical university of Denmark, ISBN 87-90855-00-0
- (Laprie et al., 1989) Laprie J.C., Courtois B., Gaudel M.C., Powell D. (1989). Sûreté de fonctionnement des systèmes informatiques. Dunod Informatique, Paris, ISBN 2-04-016942-3.
- (Lawley, 1974) Lawley H.G. (1974). Operability Studies and Hazard Analysis. Chemical Engineering Progress. **Vol. 70**. pp105-116.
- (Lee, 1998) Lee J. (1998). Teleservice engineering in manufacturing: challenges and opportunities. Int. Journal of Machine Tools & Manufacture. **Vol. 38**, pp 901-910.
- (Léger et Morel, 2001) Léger J-B, Morel G. (2001). Integration of maintenance in the Enterprise: Towards an Enterprise modelling-based framework compliant with proactive maintenance strategy. Production Planning & Control. **Vol. 12** (2), pp 176-187.
- (Lemoigne, 1984) Lemoigne J.L. (1984). La Théorie du Sytème Général, Théorie de la Modélisation. Presses Universitaires de France, Collection Systèmes-Décisions, deuxième édition,, ISBN 2-13-038483-8.
- (Lemoigne, 1990) Lemoigne J.L. (1990). La modélisation des systèmes complexes. Afcet Systems. Editions Dunod. Paris.
- (Lhoste, 1985) Lhoste P. (1985). EXploitation Assitée par Ordinateur, EX.A.O.: Proposition d'une approche méthodologique et d'outils d'assistance Thèse de l'Université Nancy I.
- (Lhoste, 1994) Lhoste P. (1994). Contribution au génie automatique: concepts, modèles, méthodes et outils. Habilitation à diriger des recherches. Université de Nancy I.
- (Lhote et al., 1999) Lhote F., Chazelet PH., Dulmet M. (1999). The extension of principles of Cybernetics towards Engineering and Manufacturing; Annual Reviews in Control. **Vol. 23**, pp 139-148.
- (Masten, 1998) Masten M.K. (1998). Electronics: The Intelligence in Intelligent Control, Annual Reviews in Control. **Vol. 22**, pp1-11
- (Maturana et Norrie, 1996) Maturana F. and Norrie D (1996). Multi-agent mediator architecture for distributed manufacturing. Journal of Intelligent Manufacturing, **Vol.7**, pp 257-270.
- (Mayer, 1995) Mayer F. (1995). Contribution au Génie Productique: Application à l'Ingénierie pédagogique en Atelier Inter-Etablissements de Productique Lorrain. Thèse de doctorat, spécialité Production Automatisée, Université de Nancy I.
- (Meinadier, 1998) Meinadier J.P. (1998). Ingénierie et Intégration des Systèmes. Editions HERMES. ISBN 2-86601-720-X.
- (Mesarovic et al. 1970) Mesarovic M.D., Macko D., Takahara Y. (1970). Theory of hierarchical, Multilevel, Systems. Academic Press, New-York.
- (Mesarovic, 1962) Mesarovic M.D. (1962). On Self Organizational Systems. Self Organizing Systems (M. Yovits, G.T. Jacobi, G.D. Godstein eds.), Editions Spartan, 1962.

- (MESR, 1995) Bayart M., Simonot-Lion F. (1995). Impact de l'émergence des réseaux de terrain et de l'instrumentation intelligente dans la conception des architectures des systèmes d'automatisation de processus. Rapport final du projet MESR2033. Convention 92-P-0239.
- (Morel et Zaremba, 2001) Morel G., Zaremba M. (2001). Information system paradigm for agile manufacturing automation, In: Preprints of the 10th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing, INCOM'01, Survey paper, Vienna, Austria, 20-22 September.
- (Morel, 1992) Morel G. (1992). Contribution à l'Automatisation et à l'Ingénierie des Systèmes Intégrés de Production. Habilitation à diriger des recherches. Université Nancy I.
- (Niel, 1994) Niel E. (1994). De la Sécurité Opérationnelle des Systèmes de Production. Habilitation à Diriger des Recherches, Sciences, Université Claude Bernard Lyon I et Institut National des Sciences Appliquées de Lyon.
- (Noyes et Pérès, 1999) Noyes D., Pérès F. (1999). Maintenance strategies integrated into production management: towards Performance Optimisation. In: Official Proceedings of INCOM98, Eds. Morel G. et Vernadat F.B., Elsevier Science, Oxford, ISBN 0-08-042928-9, volume 2, pp 969-974.
- (Oliveira et al., 1999) Oliveira E., Fisher K., Stepankova O. (1999). Multi-agent systems: which research for which applications. Robotics and Autonomous Systems. **Vol. 27**, pp 91-106.
- (Parunak, 1996) Parunak, H., (1996), Applications of Distributed Artificial Intelligence in Industry. In O'Hare and Jennings (Eds.) Foundations of Distributed Artificial Intelligence (Wiley Inter-Science).
- (Paulk, 1995) Paulk M. C. (1995). How ISO9001 compares with CMM. IEEE Software, pp74-83, January
- (Pels et al., 1997) Pels H.J., Wortmann J.C., Zwegers A.J.R. (1997). Flexibility in manufacturing: An architectural point of view. Computers in Industry. **Vol. 33**, pp 271-283
- (Ranky, 1986) Ranky P. (1986). Computer Integrated Manufacturing. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- (Rao et Wang, 1993) Rao M., Wang Q. (1993). Computer Integrated Process systems in continuous manufacturing industries. Computer Integrated Manufacturing System, **Vol. 6.**, n°4, pp 260-272.
- (Robert et al., 1993) Robert M., Marchandiaux M., Porte M. (1993). Capteurs Intelligents et Méthodologies d'évaluation. Editions Hermes, Paris.
- (Roboam, 1988) Roboam M. (1988), Modèles de référence et Intégration des méthodes d'analyse pour la conception des systèmes de production. Thèse de Doctorat de l'Université de Bordeaux I.
- (Simon, 1990) Simon H.A. (1990). The sciences of the artificial. MIT press, Cambridge Mass.
- (Simpson et al., 1982) Simpson J.A., Hocken R.J., Albus J.S. (1982). The automated Manufacturing Research Facility of the National Bureau of Standards. Journal of Manufacturing Systems, **Vol. 1**, N°1, pp.17-32.
- (Staroswiecki et Bayart, 1994) et Staroswiecki M., Bayart M. (1994). Actionneurs Intelligents. Edition Hermes.
- (Staroswiecki et Bayart, 1996) et Staroswiecki M., Bayart M. (1996). Models and Languages for the Interoperability of Smart Instruments. Automatica, **Vol. 32**, n°6, pp859-873.
- (Swanso, 2001) Swanso L. (2001). Linking maintenance strategies to performance. International Journal of Production Economics. **Vol. 70** (3), pp 237-244
- (Thomesse, 1999) Thomesse J.P. (1999). Fieldbuses and interoperability. Control Engineering Practice, **Vol. 7**, pp 81-84.
- (Titli, 1975) Titli A. (1975). Commande hiérarchisée et Optimisation des Systèmes Complexes, Dunod Automatique, Paris.
- (Ueda, 1994) Ueda K. (1994). Biological-oriented paradigm for artifactual systems. Japan-USA Symposium on flexible automation, A pacific Rim Conference.
- (Valckenaers et al., 1994) Valckenaers P., Van Brussel H., Bonneville F., Bongaerts L., Wyns J. (1994). IMS Test Case 5: Holonic Manufacturing Systems. In: Proceedings of IFAC IMS Workshop – IMS'94, 13-15 June, Vienna
- (Valckenaers, 2001) Valckenaers P. (2001). Special Issue on Holonic Manufacturing Systems. Computers In industry. **Vol. 46**.
- (Van der Pijl et al., 1997) Van der Pijl G.J., Swinkels G.J.P., Verrijdt J.G. (1997). ISO9000 versus CMM: Standardization and Certification of IS development. Information Management. **Vol. 32**. pp 267-274.

- (Venkatasubramanian, 1994) Venkatasubramanian V. (1994). Towards Integrated Process Supervision: Current status and Future Directions. In: Proceedings of the 2nd IFAC Workshop on Computer Software Structures Integrating AI/KBS Systems in Process Control, pp 9-21, 10-12 August, Lund, Sweden.
- (Vernadat, 1996) Vernadat F.B. (1996). Enterprise Modeling And Integration, principles and applications, (Chapman & Hall, Londres), ISBN 0 412 60550 3.
- (Vogel, 1988) Vogel C. (1988). Génie Cognitif. Sciences Cognitives. Eds. Masson.
- (Westkampfer, 1999) Technical Intelligence for Manufacturing, In: 2nd Workshop on IMS (IMS'99 Europe), pp k3–k14, September 22-24, Leuven, Belgium.
- (Williams et Li, 1997) Williams J. T., Li H. (1997). The task force specification for GERAM and its fulfilment by PERA. Annual Reviews in Control. **Vol. 21**, pp 137-147.
- (Winter, 1997) Winter E. (1997). Negotiations in multi-issue committees. Journal of public economics. **Vol. 65**, pp 323-342
- (Wortmann, 1997) Wortmann J-C. (1997). Enterprise Reference Architectures – A Research Portfolio. In: Enterprise Engineering and Integration: Building International Consensus Kosanke K, Nell J.G. (ed). Springer Verlag, Berlin, pp 20-26. ISBN 3-540-63402-9.
- (Wu, 1997) Wu Cheng. (1997). The Information Technology and the Development Of Enterprises: Strategies for Chinese Manufacturing Enterprises, Computer in Manufacturing Systems, **Vol.3**, No.3, pp. 3-7.
- (Yoshikawa, 1995) Yoshikawa H. (1995). Manufacturing and the 21st Century – Intelligent Manufacturing Systems and the Renaissance of the Manufacturing Industry. Technological Forecasting and Social Change. **Vol. 49** (2), pp195-213.
- (Zaremba et Morel, 2003) Zaremba M. et Morel G. (2003). Integration and control of intelligence in distributed manufacturing. International Journal of Intelligent Manufacturing. Eds. A. Kusiak. . Special Issue on Internet-Based Distributed Intelligent Manufacturing Systems (Ed. Z. Banaszak) **Vol.14** n°1, Jan 2003.

Acronymes

AIPL	Atelier Inter-Etablissement de Productique Lorrain
ALSI	Applications Logicielles pour les Systèmes Industriels
AMI	Actionnement et Mesure Intelligents
AS2F	Automatisation et Systèmes Sûrs de Fonctionnement
ATELA	Atelier d'Electronique et d'Automatique de l'UHP
CASIP	Conception Assistée pour la Sûreté Industrielle et la Productivité
CCS	Communication Companion Standard
CENNET	China Europe Network on the NET
CIAME	Comité Interprofessionnel pour l'Automatisation et la Mesure
CIM	Computer Integrated Manufacturing
CIMOSA	Computer Integrated Manufacturing - Open System Architecture
CMMS	Control, Maintenance and technical Management (System)
CMM	Capability Maturity Model
CRAN	Centre de Recherche en Automatique de Nancy
CSSF	Conception de Systèmes Sûrs de Fonctionnement
DEFITRA	Development of Fieldbus TRaining
DIAS	Distributed Intelligent Actuators and Sensors
EBM	Economic performance Based Maintenance
EIAM-IPE	European Intelligent Actuation and Measurement – International Promotion and Exploitation
EIAMUG	European Intelligent Actuation and Measurement User Group
EICM	Enterprise Integration Capability Model.
EPO	Elément de Partie Opérative
ERP	Enterprise Resource Planning
ESIAL	Ecole Supérieure d'Informatique et Applications de Lorraine
ESPRIT	European Strategic Programme for Research and Development in Information Technology.
FBD	Function Block Diagram
FCS	Functional Companion Standard.
FIP	Factory Instrumentation Protocol.
GEII - CASI	Génie Electrique et Informatique Industrielle – option Conduite Automatisée et Système d'Information Industrielle
GERAM	Generic Enterprise Reference Architecture and Methodology
GMP	Génie Mécanique et Productique
GRP	Groupement de Recherche en Productique
HMS	Holonic Manufacturing System
HUST	Huazhong University of Sciences and Technology
IAD	Intelligence Artificielle Distribuée
IAM	Intelligent Actuation and Measurement (System)
ICMMS	Intelligent Control, Maintenance and technical Management System
IMALCO	Intelligent Maintenance for Life Cycle Optimisation
IMS	Intelligent Manufacturing Systems
IMS-NOE	Intelligent Manufacturing Systems – Network of Excellence
IMS-WG	Intelligent Manufacturing Systems – Working Group

IQM	Techniques et technologies de l'Information appliquées à la Qualité et à la Maintenance
ISA	The Instrumentation, Systems and Automation Society
ISIAL	Institut Supérieur d'Informatique et d'Applications de Lorraine
ISP	Ingénierie des Systèmes de Production
IST	Information Society Technologies
IT	Information Technology
MACOPEG	MAintenance COopérative pour la PErformance Globale
MADKIT	Multi-Agents Development KIT
MAS	Multi-Agent System
MES	Manufacturing Execution System
MFA	Module Fonctionnel d'Automatisme
MILOS	Maintenance Intelligente du Levage pour son Optimisation et sa Sûreté
NIAM	Nijssen Information Analysis Methodology
PAI	Production, Automatisation et Information
PAPD	Productique et Automatisation des Procédés Discrets
PDCA	Plan-Do-Check-Action
POMAES	Problem Oriented Multi-Agent based E-service System
PRIAM	Prenormative Requirements for Intelligent Actuation and Measurement
PRIMA	Process Industries Manufacturing Advantage
REMAFEX	Remote Maintenance for Facility Exploitation
S3	Sûreté, Surveillance, Supervision
SAPID	Systèmes Automatisés de Production à Intelligence Distribuée
SIPID	Système Intégré de Production à Intelligence Distribuée
SMA	Systèmes Multi-Agents
SPEX	SPécification EXécutable
SPSF	Systèmes de Production Sûrs de Fonctionnement
SSI	Sûreté des Systèmes Industriels
STMIA	Sciences et Techniques Mathématiques, Informatique et Automatique
UHP	Université Henri Poincaré
UML	Unified Modelling Language

ANNEXES:

PUBLICATIONS INTERNATIONALES