



LABORATOIRE D'INFORMATIQUE DE PARIS 6

**Rapport d'activité
& Prospective**

1er janvier 1996 - 30 juin 1998

SOMMAIRE

Le laboratoire.....	1
Le mot du directeur.....	3
Organigramme administratif (96/98).....	8
Organigramme administratif (à partir du 15/9/98)	9
Instances consultatives	10
Personnel	11
Budget.....	16
Moyens informatiques.....	18
Valorisation de la recherche.....	19
Le labo et l'enseignement de 3ème cycle.....	22
Rapport d'activité.....	25
Architecture des Systèmes Intégrés & Microélectronique.....	27
Réseaux et Performances.....	59
Systèmes Répartis et Coopératifs.....	87
Sémantique, preuve et implantation.....	123
Objets et Agents pour Systèmes d'Information et de Simulation.....	141
Apprentissage et acquisition des connaissances.....	175
Systèmes d'aide à la décision et à la formation.....	217
Algorithmique Numérique et Parallélisme.....	255
Calcul Formel.....	271
Projets inter-thèmes.....	285
Machine MPC	287
Projet Indexation Multimédia.....	291
Vérification de Modèle et Aide à la Preuve.....	297
Modélisation et Vérification de Systèmes Multi-Agents ..	299
Formel Ocamel et Coq.....	303
MICROB2 : Équipes de robots footballeurs	307
Mondes virtuels interoperables par apprentissage.....	311
Gestion de Systèmes de Production Multi-Produits à Flux Tirés.....	313

Le laboratoire

Le mot du directeur

Le présent rapport "à deux ans" a été conçu non pas comme un *addendum* à celui de l'an dernier, mais bien comme une refonte avec mise à jour, lisible sans référence au rapport précédent. On y trouvera donc, outre les habituelles données statistiques sur le laboratoire, l'exposé complet des recherches menées dans les 9 thèmes du LIP6 au cours de ses deux premières années d'existence. La principale nouveauté est le chapitre supplémentaire consacré aux 8 "projets transversaux" mis en place dans les six derniers mois.

Si l'année scolaire 1996-97 a été pour le LIP6 celle de sa création et de l'élaboration de ses structures, l'année 97-98 a été celle de la première mise à l'épreuve. L'expérience a été quelque peu perturbée par la préparation du déménagement rue de la Fédération, dans le cadre du désamiantage/mise en sécurité du campus Jussieu. Il n'est actuellement pas prévu que le laboratoire se déplace ni d'un même mouvement, ni tout entier : certaines équipes partiront dès cet été, d'autres un an après, d'autres enfin ont obtenu de rester à Jussieu. Ce résultat, contraire aux recommandations du comité scientifique de septembre 1997, motive la démission du directeur soussigné.

Le changement de direction s'accompagne d'un mouvement de personnel administratif et technique (départ d'A. Bancel et de R. Card, arrivée de N. Bohelay), et d'un remaniement des organes de direction, qui tient compte de l'expérience de ces deux années. D'où la présence ci-après de *deux* organigrammes, l'un présentant la structure qui a fonctionné jusqu'ici, l'autre l'organisation qui prend la suite.

Structure et fonctionnement du laboratoire : thèmes, pôles, conseils, équipe de direction

Le LIP6 est inscrit au contrat quadriennal 1997-2000 de l'Université Pierre et Marie Curie comme UMR (sous le n° 7606). Il a élu en janvier 98 son *conseil de laboratoire* statutaire, qui est d'une taille plus importante que ce que prévoit le contrat, eu égard à l'importance du laboratoire lui-même. Ce conseil avait été préparé en 97 par un conseil provisoire. Il s'est réuni quatre fois depuis sa création, et, après débat, il a adopté des statuts et un règlement intérieur qui explicitent le consensus fondateur du laboratoire.

L'entité de base du LIP6 est le *thème*. Homologue du *projet* à l'INRIA, et de l'*équipe* dans bon nombre de laboratoires, un thème au LIP6 est un groupe de chercheurs travaillant ensemble sur un même sujet ou sur des sujets connexes, sous la direction d'un responsable. Les thèmes sont actuellement au nombre de 9 :

- Algorithmique numérique et parallélisme* (ANP), resp. R. Alt & M. Minoux
- Apprentissage et acquisition de connaissances* (APA), resp. J. Pitrat
- Architecture, systèmes intégrés et micro-électronique* (ASIM), resp. A. Greiner
- Calcul formel* (CalFor), resp. D. Lazard
- Réseaux et performances* (RP), resp. S. Fdida
- Objets et agents pour les systèmes d'information et de simulation* (OASIS), resp. J.-P. Briot
- Sémantique, preuve et implantation* (SPI), resp. Th. Hardin
- Systèmes répartis et coopératifs* (SRC), resp. P. Estrailier
- Systèmes d'aide à la décision et à la formation* (SysDeF), resp. J.-Y. Jaffray

Le principe du fonctionnement du LIP6 est de laisser la plus grande latitude aux différents thèmes dans la gestion de leurs affaires. Chacun d'entre eux, outre ses ressources propres (contrats) reçoit une quote-part des financements communs. Charge à lui de s'équiper, et de gérer son fonctionnement.

Pour réaliser leur gestion quotidienne, compte-tenu des moyens disponibles en personnel administratif, les thèmes se regroupent en *pôles*, dont les frontières géographiques et les équipes administratives reproduisent en partie celles des anciens laboratoires auxquels le LIP6 a succédé : le pôle "Intelligence artificielle" prolonge le LAFORIA, le pôle "MSI" reproduit le MASI moins le thème ASIM (qui à lui seul représente une masse suffisante pour avoir une gestion autonome), le pôle MFI recoupe l'ancien LITP. Quant à la direction du laboratoire, qui a été longtemps hébergée par le pôle IA, elle dispose depuis septembre 97 d'un secrétaire (Th. Lanfroy) et depuis janvier 98 d'un bureau. Depuis cette date, elle est donc dans des conditions normales de fonctionnement.

Chacun des pôles constitue une unité de gestion autonome, réunissant des thèmes qui partagent les mêmes goûts et les mêmes traditions. Là aussi, l'héritage des anciens laboratoires est présent. Cette circonstance nous permet de donner aux membres du labo les conditions de travail auxquelles ils sont habitués, dans la mesure où ils en sont contents, tout en faisant évoluer les aspects moins satisfaisants. La nouvelle installation rue de la Fédération va se faire sur les mêmes bases. Il n'a pas été possible de la mettre à profit pour repenser notre organisation.

Outre le conseil de laboratoire statutaire, le LIP6 s'est doté d'un *conseil scientifique*, où chaque thème est représenté par une, deux ou trois personnes selon sa taille. C'est dans ce conseil que seront débattues les questions relatives à la politique scientifique du labo, répartition de crédits, définition des projets et profils de recrutements. Il se réunira environ une fois par mois.

Comme organe exécutif, un *conseil de direction* d'une dizaine de personnes, aux réunions hebdomadaires, assiste le directeur (Daniel Lazard) et le directeur adjoint (Patrick Gallinari).

Telle est la nouvelle organisation du laboratoire, qui se met en place depuis le mois de juin. Jusqu'à cette date, le fonctionnement a été légèrement différent. Les orientations scientifiques et stratégiques du labo étaient discutées dans l'assemblée des responsables de thèmes et de pôles, qui s'est réunie régulièrement tous les quinze jours. L'animation quotidienne était prise en charge par une équipe constituée du directeur (J-F. Perrot) et de trois adjoints dont les attributions principales étaient :

- finances et statuts : Thérèse Hardin
- moyens informatiques, locaux et rapports avec le bureau de l'UFR : Eric Horlait
- personnel et rapports avec les autorités de tutelle : Jean-Charles Pomerol.

C'est essentiellement l'action de cette équipe qui a conduit le LIP6 à son état actuel. C'est en particulier elle qui a conduit la politique scientifique dont voici le bilan.

Politique scientifique : les projets transversaux

Le contrepoint indispensable au fonctionnement individuel des thèmes est l'organisation d'activités transversales réunissant les forces du laboratoire tout entier sur un sujet donné, et ménageant des contacts et des échanges qui à terme atténueront les différences culturelles et les barrières de communication issues du passé. En l'état actuel du laboratoire, c'est le second aspect qui nous a semblé prioritaire. Conformément aux engagements pris par la direction devant le comité scientifique de 1997, le reliquat des dotations 97 et le produit de

"l'impôt" sur les 6 premiers mois (5% sur la totalité des contrats, y compris les dépenses de personnel) a été consacré à des "projets" qui devaient obligatoirement mettre en jeu au moins deux thèmes différents.

Ces projets, au nombre de 8, ont essentiellement émergé au cours des débats de l'année 97 lors des réunions bimensuelles des responsables de thèmes. Ils ont fait l'objet d'un consensus solide qui augure bien de la poursuite de ce type d'actions. Leur variété illustre la diversité des options qui s'offrent à la direction du laboratoire. Les voici énumérés avec un bref commentaire. Pour plus de détails, voir la présentation par les responsables eux-mêmes.

1. Mise en œuvre de la machine MPC (ASIM — SRC — CalFor — ANP, resp. A. Greiner)

Projet de longue haleine. L'idée générale est d'aider certains demandeurs de puissance de calcul du LIP6 à mener des expériences sur la machine MPC développée au laboratoire dans le thème ASIM, en développant les synergies latentes. Il faut pour cela installer un minimum de logiciel d'une part, monter les expériences d'autre part : une première "manip" de calcul formel de J-Ch. Faugère tourne. La contribution du laboratoire s'est traduite par l'acquisition d'un réseau à 4 nœuds suffisant pour mettre au point les expériences ; il en faudra au moins 8 pour obtenir des résultats significatifs.

2. Indexation multimédia (ASIM — APA, resp. P. Faudemay)

Les techniques de "dictée vocale" développées dans le thème APA (équipe de traitement de la parole) sont mises en œuvre dans l'indexation de vidéos (thème ASIM). Une action "coup de poing" a été décidée pour doter l'équipe des moyens matériels nécessaires à l'obtention de résultats probants sur une masse de données suffisante, eu égard à la concurrence. Grâce à ces résultats, l'équipe a pu entrer dans un projet européen...

Les trois projets suivants manifestent la présence au LIP6 de toute une activité centrée sur la vérification, la validation et la preuve du logiciel.

3. VMAP : Vérification de Modèles et Aide à la Preuve (ANP — SRC — SPI, resp. M. Minoux)

Le but de ce projet est de confronter les techniques favorites des différents participants sur un même problème (le protocole BRP), préliminaire nécessaire à une évaluation des dites techniques et à une collaboration plus poussée. Il s'agissait de la traduction de VHDL vers les réseaux de Petri pour ANP, de la modélisation directe en réseaux de Petri colorés pour SRC, et de la modélisation par flots de données (en LUSTRE) pour SPI. Étant donné les besoins du thème ASIM en matière de validation de protocoles, cette activité devrait se poursuivre.

4. Modélisation et Vérification de Systèmes Multiagents (SRC — OASIS, resp. J.-P. Briot)

Les travaux sur la modélisation multi-agents (OASIS : formalisme SCD) et sur la validation de systèmes répartis (SRC : formalisme OF-Class) convergent vers un système combiné, avec application dans le cadre de la CTI Carisma du CNET.

5. FOC : Formel, Ocaml et Coq (CalFor — SPI, resp. Th. Hardin)

Le but est d'obtenir des programmes de calcul formel certifiés, avec langage de programmation (OCaml), langage de preuves (Coq) et bibliothèque. La première étape a concerné les choix de modélisation par objets (classes, instances, héritage) et modules. Un rapport interne détaillé a été produit. À noter que ce projet fait également partie de l'action incitative CFC (Calcul Formel Certifié) de l'INRIA.

Les deux projets suivants ont en commun le recours aux techniques d'apprentissage, dont on peut présager qu'il représente une tendance lourde, et par conséquent un axe de développement futur du laboratoire.

6. Microb2 : Equipes de robots footballeurs (APA — OASIS, resp. A. Drogoul)

En marge de la vaste entreprise qui fédère au sein de l'UPMC le LIP6, le LRP, le LIS et l'IFITEP dans le cadre de la RoboCup '98, le but spécifique de ce projet transversal a été de favoriser la collaboration entre modélisateurs multi-agents et techniciens de l'apprentissage, en profitant de la magnifique application que fournit la compétition en question. Il est trop tôt (la compétition est en cours !) pour en tirer des conclusions ici.

7. Réalité virtuelle : Interopérabilité entre Mondes Virtuels et Apprentissage (APA — RP, resp. M. Soto)

L'idée est d'appliquer des techniques de construction et de comparaison de hiérarchies de concepts (issues de l'intelligence artificielle) à la confrontation entre deux mondes virtuels voisins mais différents pour permettre à des objets de l'un de fonctionner dans l'autre (problématique explorée par le thème RP), fût-ce au prix d'une certaine dégradation. Il s'agit d'une entreprise à long terme.

Enfin le 8ème projet revêt un double aspect "interne" (voir ci-dessous) et "externe", en ce qu'il manifeste la capacité du LIP6 à se mobiliser sur des axes qui sont déclarés prioritaires par le CNRS (en l'occurrence les systèmes de production).

8. Gestion de Systèmes de Production Multi-Produits à Flux Tirés (RP — SysDef, resp. Y. Dallery).

Il s'agit de favoriser la collaboration entre les équipes d'Y. Dallery (RP) et de Ph. Chrétienne (SysDef). Le sujet choisi est la modélisation de systèmes de production à flux tirés (spécialité Dallery) comme problèmes d'ordonnancement (compétence Chrétienne).

Comme on voit, le graphe des collaborations induites par les 8 projets de cette première vague est connexe ! On peut parier que d'autres propositions se feront jour pour la deuxième vague, qui devrait bénéficier d'un financement plus important car gagé sur une année entière d'impôts sur les contrats.

Politique scientifique: recrutements

Les orientations retenues l'an dernier par le LIP6, qui avaient été dûment transmises par l'UFR et validées par l'université, ont été suivies. Le nouveau fonctionnement des commissions de spécialistes et le calendrier très serré des opérations cette année ne nous a pas laissé beaucoup de temps pour élaborer dans le détail un consensus complet, eu égard aux candidatures effectives. Les choix de profils pour le prochain mouvement est en cours, devant le conseil scientifique du labo qui doit se réunir à la rentrée.

Politique scientifique: valorisation

Le souci de la valorisation de leurs recherches est sans doute un des mieux partagés par l'ensemble des membres du LIP6. Conformément aux termes du contrat quadriennal, les activités correspondantes sont supervisées par la Direction des Relations Industrielles de l'UPMC, avec laquelle la direction du laboratoire entretient des relations aussi confiantes que suivies.

Ces activités se traduisent par

- une augmentation sensible du nombre et du montant cumulé des contrats passés par des membres du laboratoire ;
- un certain nombre d'accords-cadres (avec l'INRIA autour des réalisations du thème CalFor, participation du LIP6 au pôle scientifique Dassault-UPMC)
- la création de nouvelles entreprises "start-up" ;
- la passation de nouveaux brevets.

La possibilité d'une politique industrielle coordonnée, et susceptible de s'inscrire dans le cadre de celle de l'université, a été une des raisons qui ont milité en faveur de la création d'un gros laboratoire. Il est clair qu'en deux ans des progrès substantiels ont été réalisés sur ce chapitre, avec l'aide de la DRI. Tout laisse penser que cette progression va se poursuivre dans les années à venir, car le potentiel du LIP6 est considérable.

Paris, le 7 juillet 1998

J.-F. Perrot,
Directeur

Organigramme administratif (96/98)



LIP6 (UMR 7606)

Directeur : J.-F. PERROT, Professe
Adjoint au Directeur Th. Hardin, Professeur (Finances)
E. Horlait, Professeur (Moyens)
J.-Ch. Pomerol, Professeur (Relations avec les tutelles)

Communication
Ch. Perrichon, IE

Moyens informatiques communs
R. Card, IR

Administration et finances
A. Bancel, AAR (Administration générale)
J. Le Baquer, SARF (Finances⁽¹⁾)

Les thèmes de recherche

Pôle/thème ASIM

A. Greiner, Professeur
Administration et finances : N. Fouque

Pôle IA

J.-Ch. Pomerol, Professeur
Administration : A. Bancel
Finances : J. Le Baquer

APA
J. Pitrat

OASIS
J.-P. Briot

SYSDEF
J.-Y. Jaffray

Pôle MFI

Th. Hardin, Professeur
Administration et finances : D. Massot

CalFor
D. Lazard

SPI
Th. Hardin

Pôle MSI

Y. Dallery, Directeur de Recherche
Administration et finances : V. Varenne

ANP
M. Minoux

RP
S. Fdida

SRC
P. Estraillet

Organigramme administratif (à partir du 15/9/98)



LIP6 (UMR 7606)

Directeur : D. Lazard, Professeur
Directeur Adjoint : P. Gallinari, Professeur
Administration générale : N. Bohelay
Secrétariat : Th. Lanfroy

Conseil de laboratoire
40 personnes
Organe statutaire
Réunions trimestrielles

Conseil de Direction
10 personnes
Organe exécutif
Réunions hebdomadaires

Conseil scientifique
20 personnes
Organe consultatif
Réunions mensuelles

Les thèmes de recherche

Pôle ASIM

A. Greiner, Professeur
Administration et finances : N. Fouque

ASIM

A. Greiner

Pôle IA

P. Gallinari, Professeur
Administration et finances : J. Le Baquer

APA

B. Bouchon

OASIS

J.-P. Briot

SYSDEF

J.-Y. Jaffray

Pôle MFI

Th. Hardin, Professeur
Administration et finances : D. Massot

CalFor

D. Lazard

SPI

Th. Hardin

Pôle MSI

B. Folliot, Professeur
Administration et finances : V. Varenne

ANP

M. Minoux

RP

S. Fdida

SRC

C. Girault

Instances consultatives

Comité scientifique (Président : G. Tulusso)

Membres de droit

J.-J. Gagnepain, Directeur Scientifique, SPI, CNRS
G. Gallo, Chargé de mission Industrie, CNRS
P. Arrighi, Délégué du CNRS, secteur Paris B
J. Lemerle, Président, Université Pierre et Marie Curie
J.-F. Perrot, Professeur, Directeur du LIP6
P.-L. Curien, Directeur scientifique, Sciences et technologies de l'information, MESR

Représentants du laboratoire

P. Brézillon, Chargé de recherche, CNRS
J.-C. Faugère, Chargée de recherche, CNRS
F. Picard, Ingénieur de recherche, CNRS

Membres invités

A. Bamberger, Directeur, Direction informatique et mathématiques appliqués, Institut français du pétrole
J.-H. Davenport, Professeur, School of Mathematical Sciences, University of Bath (RU)
M. Glass, Vice-Président Recherche, Université Pierre et Marie Curie

Membres nommés

M. Diaz, Directeur de recherche, LAAS, CNRS, Toulouse
J. Sifakis, Directeur de recherche, VERIMAG, Grenoble
J. Borel, Directeur, Recherche et développement, SGS-Thomson, Grenoble
C. Kirchner, Directeur de recherche, Projet PROTHEO, INRIA Lorraine & CRIN, Nancy
L. Gasser, Program Director, Information Technology and Organizations Program, NSF (USA)
P. Taillibert, Directeur Informatique, Dassault Electronique, Paris
G. Tulusso, Directeur marketing et technique, Alcatel Alsthom Recherche, Paris

Représentants de la section 07 du comité national du CNRS

B. Plateau, Professeur, LMC, Grenoble
P. Sallé, Professeur, ENSEEIHT, Toulouse

Conseil de laboratoire

R. Alt	J.-M. Frénod	O. Mangon
P. Aubry/C. Deleuze	P. Gallinari	M. Minoux
D. Bosq (ISUP)	J.-G. Ganascia	C. Montacié
B. Bouchon-Meunier	P. Garda (LIS)	O. Paliès
P. Brézillon	M.-P. Gervais	J.-P. Perrot
C. Brouard/T. Saura	A. Greiner	F. Picard
A. Cardon	T. Hardin	J.-Ch. Pomerol
A. Collinot	E. Horlait	M. Pouzet
A. Derieux	J.Y. Jaffray	C. Said
G.-E. Descamp	M. Joab	P. Sens
E. Encrenaz	D. Lazard	M. Soto
P. Estraillier	J. Le Baquer	G. Urvoy/G. Sunyé
J.-Ch Faugère	J.-J. Lecler/G. Durand	
S. Fdida	M.-M Louërat	

Liste du personnel, membre du LIP6 au 30 juin 1998

L'organisme de rattachement des personnels hors UPMC est spécifié entre parenthèses

Professeurs (24)

Akdag Herman (Reims)	Hanen Claire (Paris X)
Alt René	Hardin Thérèse
Ben Yellès Choukri (IUT Valence)	Horlait Eric
Cardon Alain (IUT Le Havre)	Jaffray Jean-Yves
Chrétienne Philippe	Lazard Daniel
Doucet Anne	Minoux Michel
Estraillier Pascal	Perrot Jean-François
Fdida Serge	Pomerol Jean-Charles
Gallinari Patrick	Queinnec Christian
Ganascia Jean-Gabriel	Soria Michèle
Girault Claude	Valibouze Annick (ISUP)
Greiner Alain	Vignes Jean

Directeurs de recherche CNRS (4)

Bouchon-Meunier Bernadette	Meyer Jean-Arcady ¹
Dallery Yves	Pitrat Jacques

Maîtres de Conférences (63)

d'Alché Buc Florence	Gervais Marie-Pierre (Paris 5)
Amara Amara (ISEP)	Gil-Delessalle Isabelle (CNAM)
Anelli Pascal	Giroire Hélène
Auge Ivan (CNAM)	Gonzales Christophe
Baron Monique	Ilié Jean-Michel (Paris 5)
Baynat Bruno	Jézéquel Fabienne (Paris 2)
Bazargan-Sabet Pirouz	Joab Michelle
Bernardy André	Kordon Fabrice
Blain Gilles	Labat Jean-Marc (Paris 2)
Body Yves	Lamotte Jean-Luc
Caraty Marie-José	Leccas Dimitri
Chailloux Emmanuel	Leroch Marie-France
Cheminaud Marc	Maille Michel
Chesneaux Jean-Marie	Manoury Pascal
Darche Philippe (Paris 5)	Mathieu Jacques (Rouen)
de La Passardière Brigitte	Mehrez Habib
Derieux Anne	Ménissier-Morain Valérie
Drogoul Alexis	Montacié Claude
Dromard Danièle	Morcrette Michèle
Dromard François	Munier Alix
Dutheillet Claude	Nguyen Van-Lu
Encrenaz Emmanuelle	Nowak Gérard
Flavigny Bruno	
Folliot Bertil (Paris 7)	
Gançarski Stéphane	

(suite au verso)

¹ en stage au LIP6 à compter du 1/1/98
Pachet François

Paget Marie-Martine

Paliès Odile
Pelletier-Koskas Maryse
Perny Patrice
Petrot Frederic
Poitrenaud Denis (Paris 5)
Pouzet Marc
Rioboo Renaud

Roca Vincent
Sens Pierre
Soto Michel (Paris 5)
Spathis Vassiliki
Thai Kim Loan
Ziane Mikal (Paris 5/IUT Versailles)
Zucker Jean-Daniel

Chargés de recherche CNRS (10)

Barril Patrick
Brézillon Patrick
Briot Jean-Pierre
Collinot Anne
Dubois Olivier

Faugère Jean-Charles
Lifchitz Alain
Louërat Marie-Minerve
Marzouki Meryem
Visetti Yves-Marie

PRAG, agrégés et sous contrat (5)

Auzende Odette (PRAG, Paris II)
Bourgin Pierre (Alcatel)
Caetano Herculano (chercheur sous contrat)

Gacogne Louis (agrégé, IIE Evry)
Tisseau Gérard (agrégé secondaire)

ITA CNRS (19)

Bancel Anne (Attachée d'administration)
Barollet Gilbert¹ (Ingénieur d'études)
Bohelay Nicole² (Attachée d'administration)
Bonnaire Xavier (Ingénieur d'études)
Carlier Janine (Ingénieur d'études)
Faudemay Pascal (Ingénieur de recherche)
Fouque Nicole (Assistant ingénieur)
Frénod Jean-Michel (Ingénieur d'études)
Kandel Danièle¹ (Ingénieur d'études)
Kieu Lê Quyên³ (Ingénieur de recherche)

Mangin Valérie (Technicienne, 50%)
Mangon Olivier (Ingénieur d'études)
Mary Ghislaine (Adjoint administratif)
Masbou Marie-Claire (Ingénieur d'études)
Penné Jean (Ingénieur de recherche)
Perrichon Chantal (Ingénieur d'études)
Picard Françoise (Ingénieur de recherche)
Robinet Nicole¹ (Ingénieur de recherche)
Zinck Bernard⁴ (Ingénieur d'études)

IATOS UPMC (17)

Card Rémy (Ingénieur de recherche)
Costes Brigitte (Adjoint administratif, 80%)
Descamps Gilles-Eric (Ingénieur d'études)
Hurgues Marie-Catherine (adjoint administratif)
Kurinckx Raymonde (Technicienne, 50%)
Lanfroy Thierry (Adjoint administratif)
Le Baquer Jacqueline (Secrétaire d'adm.)
Massot David (Adjoint administratif)
Mélantois Micheline (Technicienne)

Mounier Jean-Luc (Ingénieur d'études)
Musial Andrée (Agent/bureau, ADFAC, 50%)
Narboni Jacqueline (Adjoint administratif, 80%)
Palmeira Guy (Technicien)
Payet Primalli (Agent administratif)
Philiba Marcelle (Secrétaire d'administration)
Saïd Clémentine (Secrétaire d'administration)
Varenne Véronique (Adjoint administratif)

ATER (20)

Aubry Philippe
Borgi Amel (Reims)
Cazenave Tristan
Dunoyer Julien
Faron Catherine (Orléans)
Guermeur Yann (ENS Lyon)
Guessoum Zahia
Leray Philippe (Paris 13)
Marsala Christophe (IUT Paris 13)
Monties Sophie (Paris 12)

Mynard Laurent (Paris 13)
Pagano Bruno
Pecego Georges (IUT Paris 13)
Rebufat François
Rifqi Maria
Rolland Pierre-Yves
Wajsbürt Franck
Diagne Alioune
Moret Yan
Lefebvre Vincent

¹ Mis(e) à la disposition de l'UFR

² Arrivée au LIP6 au 1/7/98 suite au départ d'Anne Bancel au 1/9/98

³ Détachée à mi-temps au GIS Sciences de la Cognition

⁴ Mis à la disposition du CCR

Post-doc (17)

Bawa Rajesh
 Bournaud Isabelle
 Daddi Moussa Ahmed
 Faÿ Armelle
 Ghedjati Fatima
 Havelund Klaus (CEE, HCM)
 Houelle Alain (CEA)
 Karaesmen Fikri (CEE)
 Lhuillier Marc

Li Haifeng (boursier gouv. chinois)
 Paviot-Adet Emmanuel (CNET)
 Saibi Amokrane
 Sirol Olivier
 Slodzian Aurélien (Chercheur VU Bruxelles)
 Vaucher Nicolas
 Vernier Isabelle
 Zerrouki Amal

Allocataires de recherche MENESR (56)

Allongue Sébastien
 Amini Massih-Reza
 Avot Grégoire
 Bajot Yann
 Beys Pascal
 Boulmé Sylvain
 Bouyer Manuel
 Bretelle Bruno
 Brouard Christophe
 Cadinot Philippe
 Caron Arnaud
 Chavin Philippe
 Commelin Eric
 Darricau Myriam
 Dauchez Jean-François
 de Véricourt Francis
 Delerue Olivier
 Deleuze Christophe
 Desbarbieux Jean-Lou
 Detyniecki Martin
 Dumonteix Yannick
 Durand Gwenael
 Florent Olivier
 Fourmaux Olivier
 Fredon Arnaud
 Gueguen Laurent (AMN)
 Guerrier Pierre (AMX)
 Guin Nathalie (AMN)

Henriet Laurent (Paris 9)
 Hommais Denis
 Knippel Arnaud
 Hutzler Guillaume
 Jacomme Ludovic
 Kotsireas Ilias
 Lahlou Chams
 Le Bihan Hervé
 Leduc Thomas
 Lefèvre Fabrice
 Lesot Jean-Philippe
 Liret Anne
 Mammass Brahim
 Meyer Christophe
 Moneret Régis (AMX)
 Petridis Sergios
 Picault Sébastien
 Quéré-Stulchik Marie-Pierre (AMN)
 Rahim Fahim
 Rennert Nicolas
 Roy Pierre
 Safey El Din Mohab
 Saura Thierry
 Servat David
 Sourd Francis (AMX)
 Vuillemin Laurent
 Wuillemin Pierre-Henri
 Zaragoza Hugo

Doctorants CIFRE (16)

Aladenise Nathalie (GIAT Industries)
 Bellili Abdelouahab (La Poste)
 Carrive Jean (INA)
 Eude Virginie (Thomson RCC)
 Gérard Olivier (LEP)
 Gureghian Emmanuel (Sté Bertin)
 Ilponse Fabrice (ST Microelectronics)
 Kaplan Frédéric (Sony CSL)

Lesueur Bruno (Ackia)
 Pistorius Joachim (Métasystèmes)
 Rémy Stéphane (Dassault Aviation)
 Rick Andreas (GEMS)
 Sefrioui Mourad (Dassault Aviation)
 Thomas Olivier (Dassault Aviation)
 Turier Arnaud (ATMEL)
 Urvoy Guillaume (Philips)

Thésards dont les ressources ne sont pas directement liées à la thèse (18)

Adam Frédéric (Lecteur Cork Univ. College)
 Alexandre Guillaume
 Banto Anca
 Benalycherif Mohamed-Lyes
 Chabanne Nacira
 Chabaud Cyrille

Chaput Jean-Paul
 El Kaïm William
 Lalande Steffen
 Mellouli Nedra
 Mevel Franck (IE, UPMC)

(suite au verso)

Philippe Fabrice (PRAG, Montpellier III)
Prun Daniel
Thiré Frédéric
Tnazefti Insaf

Toudeft Abdelmoumène
Victor Marc
Zouaoui Mohsen

Boursiers (30)

Abdeljaouad Inès (gouv. étranger)
Agabra Juliette (CEMAGREF)
Ajami Khalil (gouv. étranger)
Akoulchina Irina (gouv. français)
Alves Barbosa Fabricio (gouv. étranger)
Begdouri Ahlame (gouv. français)
Benabbou Faouzia (gouv. français)
Bezerra Arrantes Luciana (gouv. étranger)
Bouchaib Nassereddine (gouv. français)
Bukovjan Peter (gouv. étranger)
Dessouky Mohamed (gouv. français)
Gentile Claudio (gouv. étranger)
Grimaldi Vincent (Ministère de l'Intérieur)
Grossglauser Matthias (INRIA)
Haj Mahmoud Yanal (gouv. étranger)

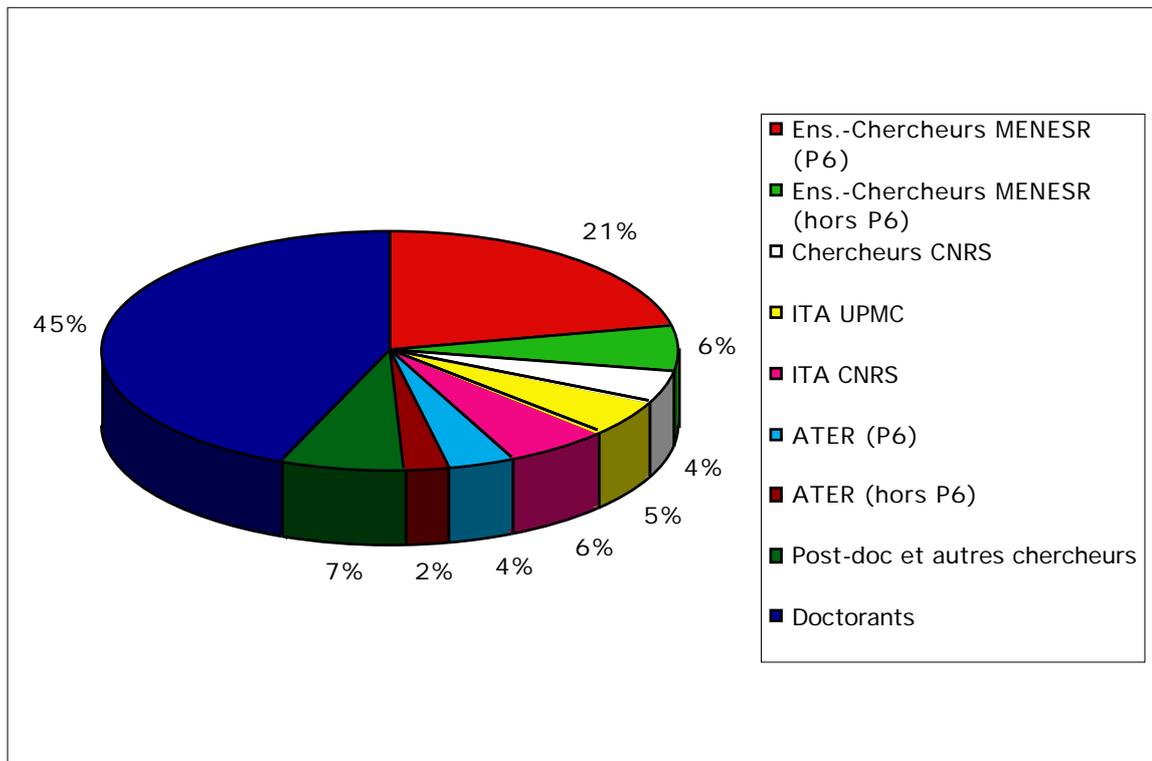
Hamchaoui Isabelle (CNET)
Hu Ping (INRIA)
Lecler Jean-Jacques (BDI CNRS/Thomson)
Maroufi Walid (gouv. étranger)
Martini Bigolin Nara (gouv. étranger)
Merlat Walter (ONERA)
Monnet Jean-Michel (DGA)
Montagnac Marc (DRET)
Mustière Sébastien (IGN)
Saker Ilham (gouv. étranger)
Secron Marius (gouv. étranger)
Sunyé Gérson (gouv. étranger)
Tebibel Thouraya (gouv. étranger)
Urbano Paulo (PRAXIS)
Zerrouki Leila (gouv. étranger)

Doctorants dans l'industrie ou contrats CEE (22)

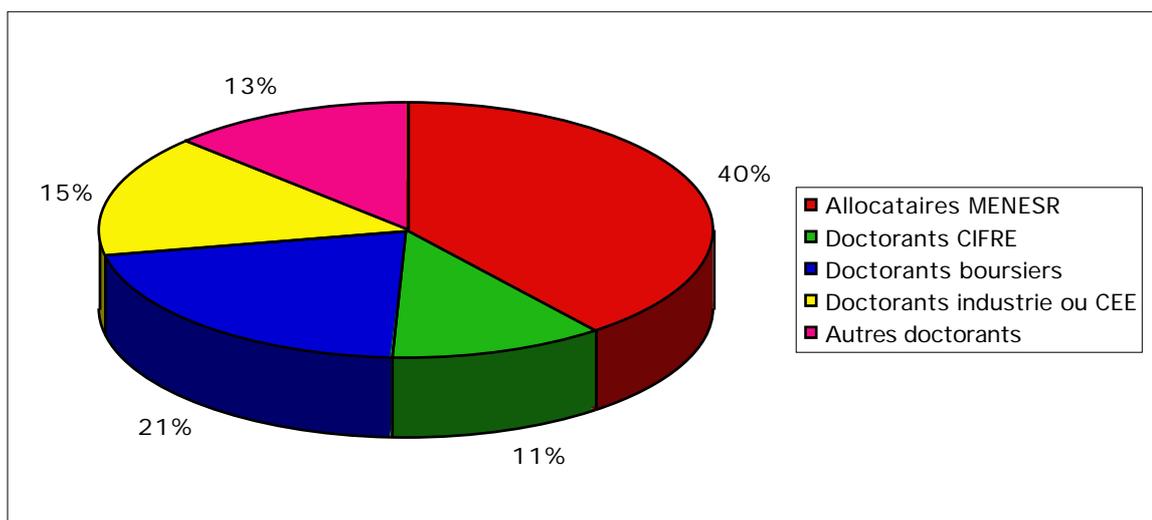
Abdallah Nizar (CEE)
Aberbour Mourad (CEA)
Aboushady Hassan (CEE)
Assadi Houssein (EDF)
Bouaraoua Abdelhafid (CEE)
Chikhi Yasmina (EDF)
Couchot Alain (Banque de France)
Delechamps Jannick (Ingénieur)
Dioury Karim (CEE)
Dracinschi Anca (CEE)
Rejouan Housseine

Fenyo Alexandre (CEE)
Goeury Alain (Ingénieur BULL)
Guettaf Amar (CEE)
Guignet Jean-Bruce (Ing. BULL-CLAYES)
Khouas Abdelhakim (CEE)
Lester Anthony (CEE)
Ruiloba Rosario (CEE)
Saab-Boutros Céline (EDF)
Seyrat Claude (CEE)
Spasevski Cyril (CEE)
Yoo Min Jung (CNET)

Répartition du personnel (nombre effectif)



Répartition des doctorants



Budget

Budgets consolidés en Francs (1996, 1997 et 1998)

Origine des crédits		1996	1997	1998	
Financements institutionnels	UPMC	Vacations	56 875		
		Fonctionnement	1 026 728	1 191 000	1 191 000
		Infrastrucuture*	7 017 000	6 016 248	6 076 248
		Equip. P6	368 375	1 081 374	956 374
		Personnel**	24 495 480	26 867 242	27 427 493
	CNRS	Soutien de base	474 961	630 000	630 000
		Actions		100 000	300 000
		Personnel	10 858 000	11 100 070	12 639 124
	Autres	Bourses (évaluation)	1 805 040	1 805 040	1 595 760
		Enseig.-chercheurs hors P6	2 250 092	2 250 092	2 729 100
	IBP	Actions IBP	1 600 798		
Ressources propres	Contrats européens	5 375 372	4 965 869	5 635 841	
	Coopérations internationales	188 000	24 000		
	Conv. avec établ. publics	1 812 995	4 999 723	2 303 257	
	Programmes nationaux	34 418			
	Contrats industriels	836 433	3 260 676	5 221 300	
Total		58 200 567	64 291 335	66 705 498	

Par souci de cohérence, en 95 et 96, les crédits reçus prennent en compte 75 % des crédits IBP (fonctionnement + équipement + actions), venant de Paris 6, Paris 7 et CNRS et 25% des crédits LITP

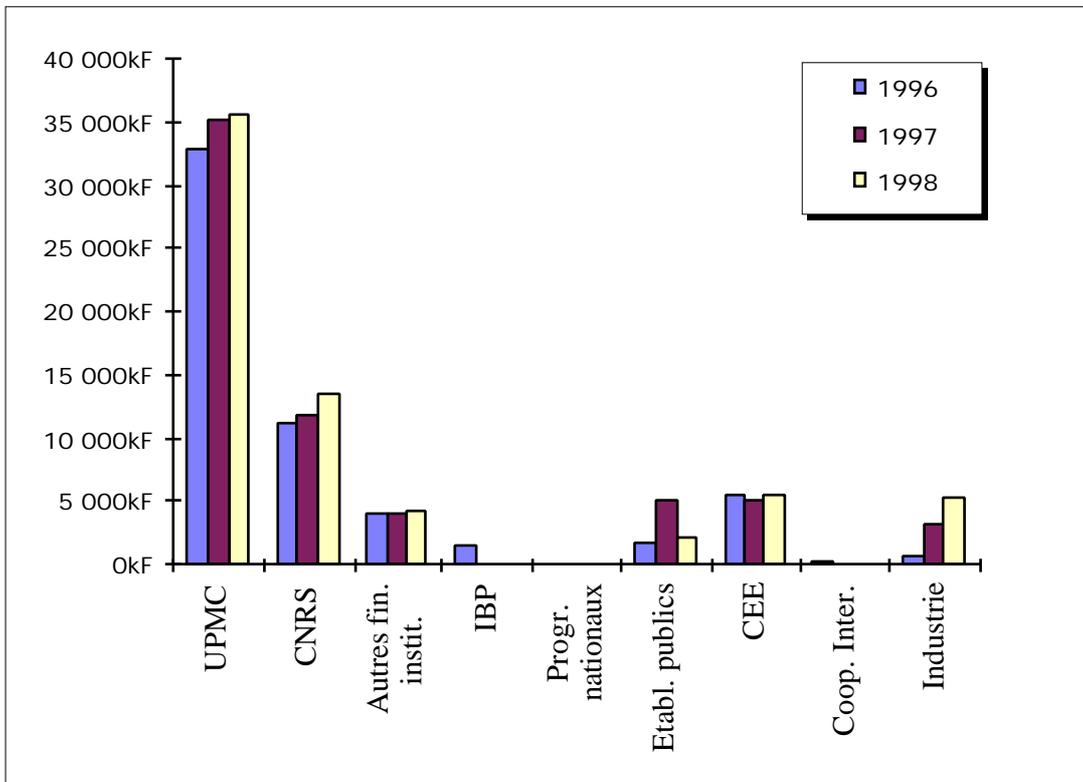
Compte IBP : 75 % (fonctionnement + équipement + actions), venant de Paris 6, Paris 7 et CNRS.

Soutien de base CNRS 1996 = subvention - reports de crédits 94 annulés

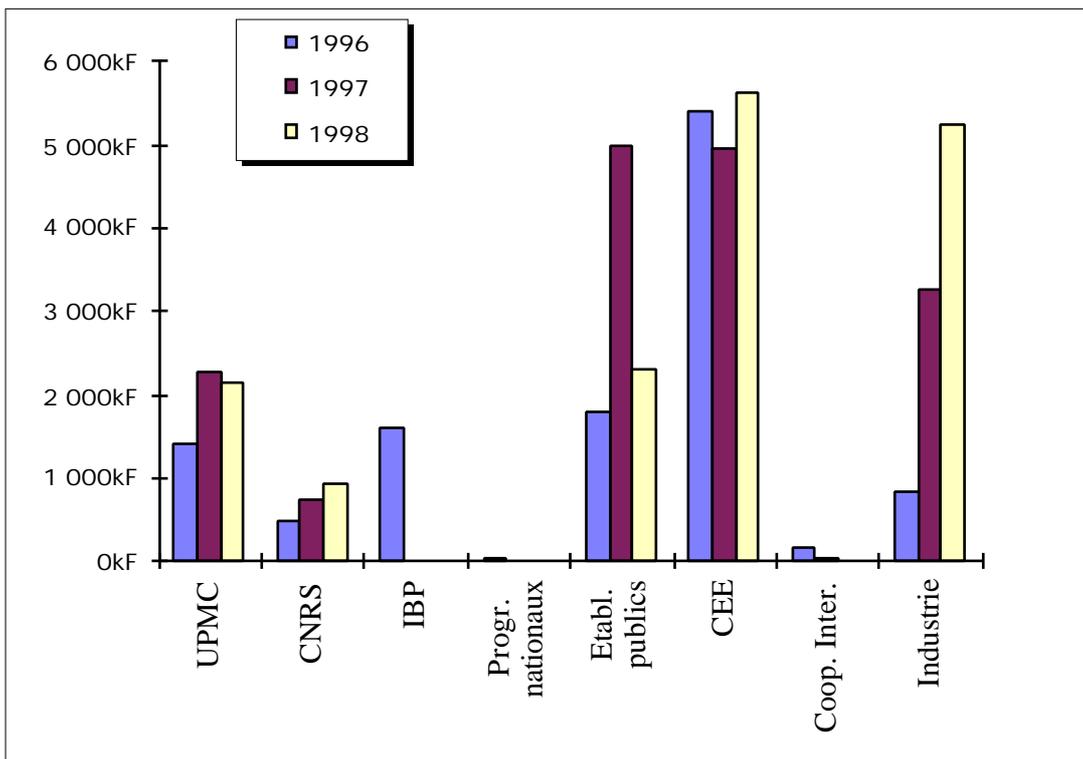
* Valeur locative correspondante à la surface occupée augmentée de la consommation en fluides (eau, électricité, chauffage) directement pris en charge par l'UPMC

** Ce chiffre inclut les allocataires de recherche du MENESR. A noter que cette somme est évaluée en tenant compte de la pondération pratiquée par l'université, à savoir, 50% des salaires réels

Budget consolidé (1996, 1997 et 1998)



Budget hors salaires et infrastructure (1996, 1997 et 1998)



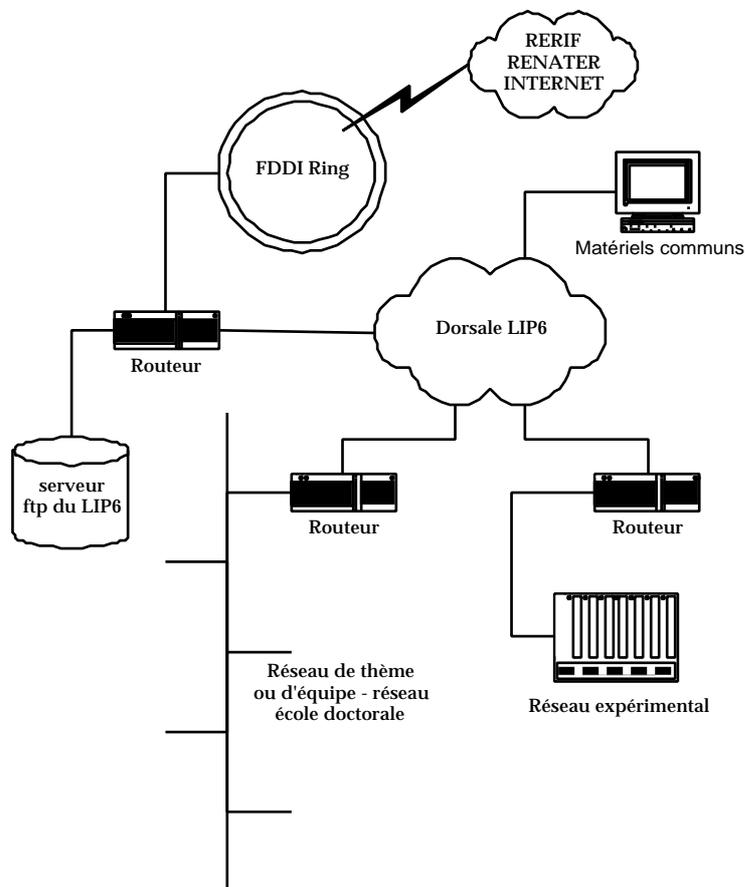
Moyens informatiques

Les moyens informatiques du laboratoire LIP6 sont organisés autour d'une infrastructure de communication commune reliée au réseau de l'Université Pierre et Marie Curie via un anneau FDDI. Le cœur de la dorsale du laboratoire est constituée d'un cablage Ethernet dont l'évolution vers une structure à haut débit est en cours d'étude.

Les équipements des thèmes du laboratoire se répartissent de la façon suivante :

- 160 stations UNIX (Sun SPARC, IBM RS6000, PC, etc.)
- 130 postes bureautiques (Apple Macintosh, PC/Windows)
- Imprimantes, routeurs, terminaux X, etc.

Le schéma ci-dessous montre l'organisation générique de ces moyens informatiques, dont le laboratoire assure la coordination et la gestion opérationnelle.



Pour les besoins de leurs recherches, certains thèmes ont développé des infrastructures expérimentales utilisant des réseaux à très haut débit (1 Gbit/s dans le thème ASIM, 155 Mbit/s dans le thème RP, 100 Mbit/s dans le thème SRC).

Brevets

- Procédé de segmentation spatiale d'une image en Objets Visuels et applications, (**Faudemay P., Durand G.**, brevet déposé pour la France le 4 Février 1998).
- Dessin des masques du circuit VLSI PCI-DDC (**Desbarbieux J.L., Greiner A., Lecler J.J., Potter F., Spasevski C., Wajsburt F.**, Dépôt INPI 1997)
- Dessin des masques du Circuit VLSI RCUBE (**Greiner A., Potter F., Reibaldi V., Zerrouk B.** dépôt INPI 1997)
- ATM Network Congestion Control System Using Explicit Rate Cell Marking (Fichou A., **Fdida S.**, Galand C., Marin G.A., Onvural R.O., VU K., brevet déposé pour les USA le 3/1/97, n° RA996070).
- Procédé de décomposition-recomposition d'images fixes et animées (**Faugère J.-Ch.**, Moreau de Saint-Martin F., Rouillier F., brevet déposé pour la France par le CCETT le 20/01/97, n° 97 005 28).
- Procédé de gestion de bandes allouées dans les réseaux locaux à accès partagés, protocole et filtre de mise en œuvre (Bouyer M, **Horlait E.**, brevet déposé pour la France le 19/6/1997 n° 9707667).
- Procédé de reconnaissance vocale d'un locuteur mettant en œuvre un modèle prédictif, notamment pour des applications de contrôle d'accès (Montacié C., Le-Floch J.-L., Caraty M.-J., brevet déposé pour la France le 3/5/96 n° 96 05566).

Logiciels ou systèmes disponibles sur ftp ou diffusés sous forme électronique

Actalk

Framework de programmation concurrente en Smalltalk. A en particulier servi de base logicielle à de nombreux projets multi-agents dans divers laboratoires. Documenté et distribué sur le serveur ftp : <ftp://ftp.ibp.fr/ibp/softs/litp/actalk/> (**Briot J.-P.**, 1994-1996).

ALLIANCE

Chaîne de CAO pour circuits intégrés VLSI distribuée depuis 1993 le serveur ftp : <ftp://ftp.ibp.fr/pub/alliance>. Elle est aujourd'hui utilisée dans plus de 250 universités dans le monde. Elle se compose d'une trentaine d'outils logiciels qui peuvent être utilisés indépendamment les uns des autres.

Royannez P. AMG : Générateur de multiplieur paramétrable

Bazargan P., Vuong H.N. ASIMUT : Compilateur/Simulateur VHDL

Petrot F. BBR : Logiciel de routage canal

Burgun L., Sirol O. BOP : Logiciel d'optimisation de réseau booléen

Winckel L. BSG : Générateur de décaleur paramétrable

Burgun L., Dictus N. C4MAP : Logiciel de synthèse sur cellules complexes

Benammar L., Chaput J.P. DPR : Logiciel de routage des chemins de données

Jacomme L. DREAL : Logiciel de visualisation de circuits

Descamps G.E. DRUC : Logiciel de vérification des règles de dessin

Chaput J.P. FPGEN : Compilateur de chemins de données.

Prado E. Caron A. FPMAP : Logiciel de synthèse logique pour circuits FPGA

Petrot F. GENLIB : Langage de description de circuits

Vuong H.N. GENPAT : Langage de description de stimuli

Petrot F. GENVIEW : Environnement graphique procédural

Dictus N. GLOP : Logiciel d'optimisation de schéma logique

Jacomme L. GRAAL : Editeur graphique

Petrot F. GROG : Générateur de ROM paramétrable

Lucas L. LVX : Logiciel de comparaison de schemas

Jacomme L. LYNX : Logiciel d'extraction de schéma logique
Burgun L. PROOF : Logiciel de preuve formelle
Bouaraoua A. RAGE : Générateur de RAM paramétrable
Winckel L. RFG : Générateur de banc de registres paramétrable
Wajsburt F. RING : Logiciel de routage des plots
Lucas L. RSA : Générateur d'additionneur paramétrable
Wajsburt F., Jacomme L., Petrot F. S2R : Logiciel d'expansion du dessin symbolique
Rejouan H., Derieux A. SCLIB : Bibliothèque de cellules précaractérisées
Allegre P., Sirol O. SCMAP : Logiciel de synthèse sur bibliothèque de cellules
Rejouan H. SCR : Logiciel de placement/routage de cellules précaractérisées
Sarwary C. Jacomme L. SYF : Logiciel de synthèse d'automates
Kiany P., Dioury K. TAS : Logiciel d'analyse temporelle
Laurentin M., Lester A. YAGLE : Logiciel d'abstraction fonctionnelle

CPN-AMI 1.3

Environnement de Génie Logiciel dédié aux réseaux de Petri (modélisation, vérification, génération de code, <ftp://ftp.ibp.fr/lip6/softs/ami/> (thème SRC, 1993-97, 15 clients/an).

CPN-AMI 2.0

Extensions de CPN-AMI 1.3 (nouvelle plate-forme logicielle de prototypage d'environnements, nouveaux outils, portage de certains outils intégrés dans la version précédente) <http://www-masi.ibp.fr/cpn-ami> (**Kordon F., Mounier J.-L.**, 1997, 15 clients/an).

C-SAT

Programme pour rechercher des interprétations satisfaisant une formule propositionnelle. Ce programme est actuellement le plus performant et est très demandé (en Europe, aux U.S.A., en Asie...) pour être utilisé dans la résolution d'autres problèmes, faire des études expérimentales ou comparer avec de nouvelles méthodes principalement approchées (distribué à la demande) (**Boufkhad Y., Dubois O.**).

GatoStar

Plate-forme répartie d'exécution pour applications parallèles intégrant un gestionnaire de partage dynamique de charge et de tolérance aux fautes. Cette plate-forme a été réalisée dans un réseau local (Ethernet) au dessus d'UNIX Sun (Sun-OS), HP (HP-UX), PC (Linux,FreeBSD) (distribué à la demande) (**Folliot B., Sens P.**).

Gb

Logiciel pour le calcul des bases de Gröbner, version 4, écrit en C++(85 000 lignes) <ftp://posso.ibp.fr/pub/software/Gb/> (**Faugère J.-Ch.**, 1996).

LiSP2TeX

Outil de programmation littéraire, ftp://ftp.inria.fr/INRIA/Projects/icsla/Programs/LiSP2TeX*.tar.gz (environ 120 connexions/an) (**Queinnec C.**, 1993-97).

Meroon V3

Système d'objets à la CLOS pour Scheme, ftp://ftp.inria.fr/INRIA/Projects/icsla/Programs/MeroonV3*.tar.gz(environ 250 connexions/an) (**Queinnec C.**, 1992-97).

MÉTAGEN

Environnement de modélisation-développement en Smalltalk, comprenant des éditeurs graphiques et textuels, compilateurs, documenteurs de méta-modèles et de modèles. Intègre des interfaces de mise en œuvre des principaux frameworks réalisés au laboratoire ou disponibles dans la communauté Smalltalk-80 : <ftp://ftp.ibp.fr/ibp/softs/laforia/metagen/> (**Revault N.**, 1996, **Sahraoui H.**, 1995).

MoByDiCk

Librairie de gestion de graphes et de réseaux probabilistes. Implémentation d'améliorations des méthodes de propagation type Pearl., CrossPlatform (Unix, Windows 95, NT) <http://www-laforia.ibp.fr/~wuillemi/MoByDiCk.zip> (**Wuillemin P.-H.**, Person P.).

NéOpus

Moteur d'inférence d'ordre 1 intégré à Smalltalk VisualWorks 2.5. Utilisé par de nombreux projets. Distribué par ftp : <ftp://ftp.ibp.fr/ibp/softs/laforia/NeOpus/SourcesNeOpus/> (**Pachet F.**, 1992-1996).

Souche IPv6 pour Linux, description du logiciel <http://zenon.inria.fr/rodeo/IPv6/> (**Anelli P.**, Brodard B., Diot C., **Horlait E.**, Zago F.)

Actions de valorisation industrielle

CADNA

Control of Accuracy and Debugging for Numerical Applications. Ce logiciel permet d'estimer l'effet des erreurs d'arrondi de l'arithmétique virgule flottante et des incertitudes des données sur tout résultat de logiciels numériques. Il permet également de faire le débogage numérique de tout programme de calcul scientifique écrit en Fortran, la version pour programme C++ est en cours de test. (**Chesneaux J.-M.**, **Vignes J.**). Distribué par la Société FLE et Société AERO.

TACHYS

Les composants VLSI RCUBE et PCI-DDC font l'objet d'un contrat de cession de licence entre l'Université Pierre et Marie Curie et la société TACHYS TECHNOLOGIE. Cette entreprise a été créée en septembre 1996 par 7 chercheurs du département ASIM du LIP6.

AED

Le logiciel GENOPTIM a fait l'objet d'un contrat de cession de licence entre l'Université Pierre et Marie Curie et la société AED. Cette société a été créée en octobre 1997 par 3 chercheurs du département ASIM du LIP6.

AVERTEC

Le logiciel TAS a fait l'objet d'un contrat de cession de licence entre l'Université Pierre et Marie Curie et la société AVERTEC. Cette société a été créée en janvier 1998 par 5 chercheurs du département ASIM du LIP6.

Intempéries

Logiciel de Formation à la Gestion de Catastrophes Naturelles (**Caetano H.**), diffusé par ISA Technologies

YAGLE

Le logiciel YAGLE fait l'objet d'un contrat de cession de licence entre l'Université Pierre et Marie Curie et la société BULL S.A., afin de permettre à BULL d'intégrer la technologie YAGLE dans l'outil d'abstraction fonctionnel GROG commercialisé par BULL (thème ASIM).

Le labo et l'enseignement de 3ème cycle

Les membres du LIP6 sont fortement impliqués dans tous les enseignements de 3ème cycle.

Formations doctorales

Les thèmes du LIP6 constituent naturellement des équipes d'accueil de doctorants et participent aux différents enseignements des DEA composant l'École Doctorale d'Informatique Blaise Pascal (responsable C. Girault) :

Années 95/96/97	Etablissements de rattachement	Thèmes LIP6 impliqués	Thèses soutenues en 96 et 97	dont LIP6
DEA Algorithmique <i>Jean-Marc Steyaert</i> 29 diplômés en 95/96 18 diplômés en 96/97	ENS Ulm ENS Cachan Ecole Polytechnique UPMC Université Paris 7 Université Paris Sud	CALFOR	32 17	15 5
DEA ASIME Architecture des Systèmes Intégrés et Micro-Electronique <i>Alain Greiner</i> 28 diplômés en 95/96 24 diplômés en 96/97	UPMC	ASIM ANP	9 9	9 9
DEA IRO Informatique et Recherche Opérationnelle <i>Michel Minoux</i> 14 diplômés en 95/96 13 diplômés en 96/97	UPMC CNAM	ANP SYSDEF	14 4	13 3
DEA IARFA Intelligence Artificielle, Reconnaissance des Formes et Applications <i>Jean-Gabriel Ganascia</i> 39 diplômés en 95/96 24 diplômés en 96/97	UPMC Université Paris 5 ENPC Paris ENSTA Paris ENST Paris	APA OASIS SYSDEF	25 7 1 1	19 7 1 1
DEA SPP Programmation : sémantique, preuves et langages. <i>Guy Cousineau</i> 13 diplômés en 95/96 20 diplômés en 96/97	Université Paris 7 UPMC Université Paris Sud ENS Ulm CNAM	SPI	11	0
DEA SI Systèmes Informatiques <i>Pascal Estraillier</i> 20 diplômés en 95/96 21 diplômés en 96/97	UPMC CNAM ENST Paris	RP OASIS SRC ANP	32 23	21 7

Tous ces DEA sont en convention avec l'INRIA.

Hors école doctorale, le LIP6 a aussi une implication dans les DEA suivants :

Années 95/96/97	Etablissements de rattachement	Thèmes LIP6 impliqués
DEA Sciences cognitives <i>Michel Imbert</i>	Université Toulouse 3 EHES UPMC Ecole Polytechnique	APA SYSDEF
DEA ATIAM Acoustique, traitement du signal et informatique appliqués à la musique <i>M. Risset</i> 10 diplômés en 95/96	Université d'Aix-Marseille 2 UPMC	APA
DEA MISI Méthodes informatiques des Systèmes Industriels <i>Claude Timsit</i> 27 diplômés en 95/96	Université Versailles St Quentin Ecole Nationale des Mines de Paris UPMC	OASIS

DESS

Les enseignants/chercheurs du LIP6 contribuent activement aux différents DESS d'informatique de l'université Pierre et Marie Curie :

Circuits Intégrés et Micro-Informatique (A.Greiner)
diplômés en 1996 : 12

Génie des Logiciels Applicatifs (J.F. Perrot)
diplômés en 1996 : 22

Ingénierie des Systèmes Informatiques (C. Girault)
diplômés en 1996 : 32

Intelligence Artificielle (Anne Doucet)
diplômés en 1996 : 19

Téléinformatique (Eric Horlait)
diplômés en 1996 : 31

Rapport d'activité & prospective

1er janvier 96-30 juin 98

NB : les publications citées dans deux thèmes sont mentionnées par un *, les noms en gras dans les listes d'auteurs sont ceux des membres du laboratoire au moment de la publication. Les publications sont séparées en deux niveaux de notoriété. Ce classement a été laissé à la responsabilité de chaque responsable de thème.

Architecture des Systèmes Intégrés & Microélectronique

Greiner Alain

Amara Amara
Auge Ivan
Bazargan-Sabet Pirouz
Bernardy André
Body Yves
Derieux Anne
Dromard Danièle
Dromard Francois
Louërat Marie-Minerve
Marzouki Meryem
Mehrez Habib
Paget Marie-Martine
Petrot Frédéric

Professeur, UPMC
Maître de Conférences, ISEP
Maître de Conférences, CNAM
Maître de Conférences, UPMC
Chargé de Recherche, CNRS
Chargé de Recherche, CNRS
Maître de Conférences, UPMC
Maître de Conférences, UPMC
Maître de Conférences, UPMC

ITA-IATOS

Descamps Gilles-Eric
Faudemay Pascal
Fouque Nicole
Hurgues Marie-Catherine
Penné Jean

Ingénieur d'Études, UPMC
Ingénieur de Recherche, CNRS
Assistant-Ingénieur, CNRS
Secrétaire, UPMC
Ingénieur de Recherche, CNRS

Personnel temporaire

Bawa Rajesh
Dunoyer Julien
Houelle Alain
Sirol Olivier
Vaucher Nicolas
Wajsbürt Franck
Zerrouki Amal

Post-Doc
ATER, UPMC
Post-Doc
Ingénieur contractuel
Post-Doc
ATER, UPMC
Post-Doc

Doctorants présents 80% du temps au LIP6

Abdallah Nizar (Bazargan, 92)
Aberbour Mourad (Mehrez, 94)
Aboushady Hassan (Louërat, 96)
Alves Barbosa Fabricio (Greiner, 96)
Avot Grégoire (Louërat, 97)
Bajot Yann (Mehrez, 97)
Bouaraoua Abdelhafid (Greiner, 93)
Bukovjan Peter (Marzouki, 97)
Caron Arnaud (Greiner, 97)
Chaput Jean-Paul (Petrot, 93)
Desbarbieux Jean-Lou (Greiner, 95)
Dessouky Mohamed (Louërat, 95)
Dioury Karim (Louërat, 94)
Dumonteix Yannick (Mehrez, 96)
Durand Gwenael (Faudemay, 96)
Fenyö Alexandre (Greiner, 95)

Florent Olivier (Derieux, 93)
Guerrier Pierre (Greiner/97)
Guettaf Amar (Bazargan, 94)
Hommais Denis (Petrot, 94)
Ilponse Fabrice (Bazargan/97)
Jacomme Ludovic (Greiner, 94)
Khouas Abdelhakim (Derieux, 96)
Lecler Jean-Jacques (Greiner, 95)
Lester Anthony (Bazargan, 94)
Maroufi Walid (Marzouki, 97)
Rejouan Housseine (Mehrez, 93)
Ruiloba Rosario (Faudemay, 97)
Seyrat Claude (Faudemay, 96)
Spasevski Cyril (Greiner, 97)
Vuillemin Laurent (Bazargan, 96)
Suite au verso

Doctorants présents moins de 80% du temps au LIP6

Goeury Alain (Greiner, 95)

Guignet Jean-Bruce (Greiner, 93)

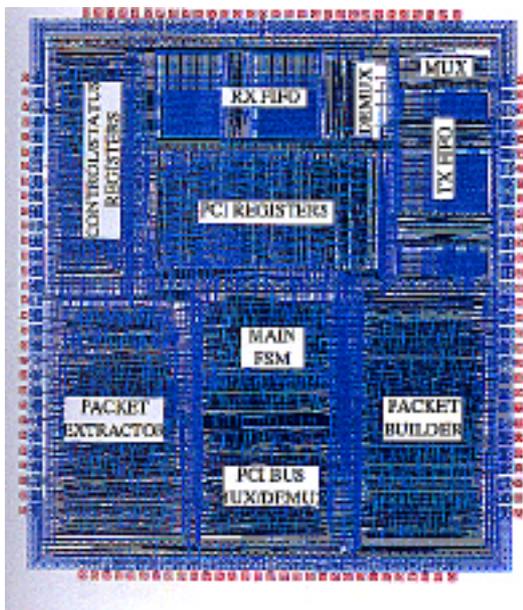
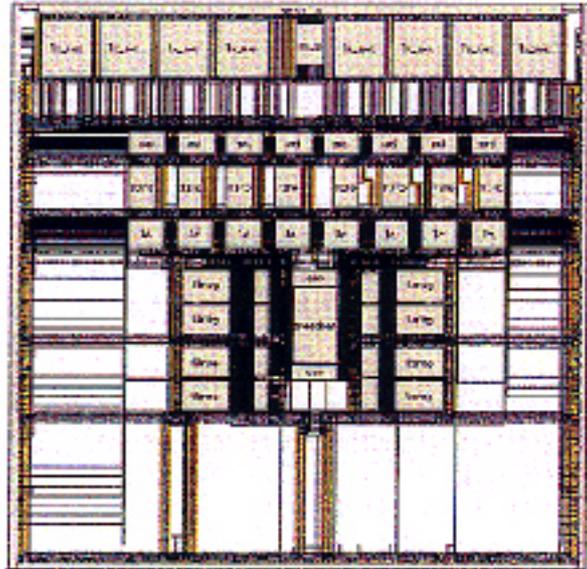
Turier Arnaud (Amara, 96)

LES 2 COMPOSANTS CLÉS DE LA MACHINE MPC

RCUBE

Routeur de paquets
Taille des paquets quelconque
Topologie et taille du réseau quelconque
Routage par intervalle
8 ports série IEEE1355 à 1 Gb/s "full duplex"
Débit total de 640 Mo/s
Latence de 150 ns pour le routage d'un paquet

Procédé de fabrication SGS-THOMSON
CMOS 0.5 micron-3.3V
460 000 transistors
Surface 213 mm²
Boîtier CQFP 208 broches
Opérationnel depuis mars 1997



PCI-DDC

Interface PCI de type maître
Interface HSL (IEEE1355)
Réalise le protocole de communication DDSLR:
Écriture directe en mémoire distante
sans intervention des processeurs de calcul et
sans recopie par le système

Procédé de fabrication ALCATEL-MIETEC
CMOS 0.5 micron-3.3V
202 000 transistors
Surface 50 mm²
Boîtier CQFP 120 broches
Retour de fabrication prévu en août 1997

Les activités de recherche du département ASIM s'organisent autour de trois projets, de tailles inégales, portant sur l'architecture des machines parallèles, les outils de CAO pour circuits et systèmes intégrés, et l'indexation de documents multi-media.

Projet MPC

Dans le domaine de l'architecture des ordinateurs, le projet MPC (pour Multi PCs) a démarré à l'Université Pierre et Marie Curie en janvier 1995, sous la direction d'Alain Greiner. Ce projet vise la conception et la réalisation d'une machine parallèle à très faible coût dont les nœuds de calcul sont des cartes de PC communiquant entre elles par un réseau rapide développé par l'équipe Architecture du LIP6. Le réseau d'interconnexion de la machine MPC utilise des liens série à un Gigabit/s et la carte réseau FastHSL comportant un routeur de message adaptatif, et un contrôleur réseau intelligent. Une première application de simulation distribuée utilisant l'environnement de programmation PVM a pu être compilée et exécutée sur la plate-forme expérimentale MPC (quatre nœuds) en mai 98. Au sein du LIP6, le projet MPC fait l'objet d'une collaboration avec les équipes «Calcul Formel» et «Systèmes Répartis». De plus, un séminaire mensuel regroupe cinq laboratoires de la région parisienne (LIP6, PRISM, ENST, LARIA, INT), travaillant dans le domaine du parallélisme. Quatre directions de recherche s'inscrivent dans ce projet:

- Un premier objectif est la définition d'une couche de protocoles sécurisés pour la plate-forme matérielle existante (carte FastHSL), de façon à garantir des communications sans pertes même en cas de défaillances matérielles. (A.Fenyo, A.Greiner)
- Le second objectif est la spécification et l'évaluation d'un environnement de programmation de type mémoire partagée utilisant le protocole DDSLR (Direct Deposit State-Less Receiver) et la plate-forme matérielle existante. (I.Scherson, F.Silva)
- Le troisième objectif est la définition d'un nouveau protocole de communication permettant l'écriture distante sans appel système, et respectant l'interface de programmation standard VIA (Virtual Interface Architecture) proposée par Intel Microsoft et Compaq. Ceci nécessite la conception d'un nouveau contrôleur réseau VLSI. Cette activité est menée en coopération avec la société Parsytec dans le cadre du projet Esprit OMI-ARCHES. (A.Bernardy, L.Desbarbieux, A.Greiner J.J.Lecler, C.Spasevski, F.Wajsburt, A.Zerouki)
- Le quatrième objectif est l'étude et la réalisation d'une nouvelle version du lien série HSL, qui devrait permettre de doubler le débit du lien et d'atteindre 2 Gbit/s en technologie CMOS, dans le cadre d'une convention de coopération avec Bull. (A.Greiner, F.Wajsburt, E.Coulon)

Projet CAO de circuits et systèmes

Ce projet s'est structuré initialement autour de la chaîne de CAO ALLIANCE, et regroupe la majorité des chercheurs du département ASIM. Actuellement, les recherches portent sur les outils et méthodes de conception des systèmes intégrés. Un système intégré est un circuit VLSI dont la complexité peut atteindre plusieurs millions de transistors. Il contient un ou plusieurs cœurs de microprocesseurs, ainsi que différents coprocesseurs matériels spécialisés. Les enjeux industriels sont importants, car ce type de composant est utilisé dans des applications électroniques grand public du type GSM, télévision numérique ou automobile, pour lesquelles l'industrie européenne est en bonne position. Ce type d'application comporte des composantes logicielles qui s'exécutent sur le ou les processeurs embarqués, et des composantes matérielles représentées par les coprocesseurs spécialisés.

Les problèmes posés portent sur les techniques de partitionnement matériel/logiciel, les méthodes d'évaluation des performances, la réutilisation de modules génériques, les outils de synthèse d'architecture, la vérification et le test des systèmes. Plusieurs directions de recherche s'inscrivent dans ce contexte :

- Un premier objectif est de construire un environnement de conception pour les systèmes intégrés. Celui-ci doit permettre une évaluation fiable des performances de systèmes mixtes matériel/logiciel, spécifiés en VHDL ou en C. Il doit également permettre de prendre en compte la testabilité au niveau système dès la phase de partitionnement matériel/logiciel. Cette activité est menée en coopération avec SGS-Thomson et Bull dans le cadre du projet MEDEA AT403. (P.Bukovjan, A.Greiner, D.Hommais, M.Marzouki, W.Maroufi, F.Petrot,)

- Une seconde direction de recherche porte sur la synthèse architecturale de coprocesseurs matériels dont la fonctionnalité est décrite par un programme séquentiel en VHDL ou en C. On s'appuie sur l'expérience acquise grâce à l'outil de synthèse ALMA et sur une bibliothèque de modules de communication génériques autour du PIBUS. Cette activité est menée en coopération avec Philips dans le cadre du projet ESPRIT COSY (I.Augé, R.Bawa, A.Greiner, P.Guerrier, D.Hommais, A.Houelle, F.Petrot, N.Vaucher)

- La synthèse de coprocesseurs spécialisés mais paramétrables nécessite de disposer d'opérateurs génériques pour les fonctions arithmétiques complexes. Un des enjeux est d'assurer la pérennité des générateurs de modules en garantissant la portabilité technologique. Ces études sont menées dans le cadre d'une coopération avec le CEA-DAM, et s'appuient sur une application cible visant le traitement d'image et la reconnaissance de formes en temps réel. (M.Aberbour, Y.Bajot, Y.Dumonteix, H.Mehrez)

- Une autre direction de recherche porte sur les outils et méthodes de vérification. Dans les circuits utilisant des procédés de fabrication sub-microniques, il n'est plus possible par exemple de négliger la résistance intrinsèque des fils d'interconnexion sur la puce, ou les phénomènes de diaphonie. Les vérifications temporelle et électrique imposent donc de modéliser les phénomènes plus finement, alors que la complexité des systèmes à vérifier augmente. Ceci nécessite une approche de vérification hiérarchique, ainsi que l'utilisation systématique de méthodes formelles, indépendantes des stimuli. Cette activité est soutenue par le projet MEDEA AT406, en coopération avec Bull. Les études sur la diaphonie sont soutenues par un contrat de recherche avec la société SGS-Thomson. (G.Avot, P.Bazargan, K.Dioury, A.Greiner, F.Iponse, A.Lester, M.M.Louërat)

- Minimiser la consommation électrique est un objectif essentiel pour les systèmes portables. Pour cela, nous souhaitons pousser plus loin l'étude des méthodes probabilistes permettant l'évaluation précise de la consommation. Une autre direction d'étude est l'analyse de différentes techniques de circuiterie sous basse tension d'alimentation, en vue de réduire la consommation. Cette activité est soutenue par un contrat CNET, et par un contrat de coopération avec la société Atmel. (A. Amara, P. Bazargan, J.Dunoyer, A.Turier)

- La conception de systèmes monolithiques conduit à intégrer directement sur la puce différentes fonctions analogiques. Il existe très peu d'outils CAO pour circuits analogiques ou mixtes. L'outil CAIRO vise donc à étendre aux générateurs de fonctions analogiques les techniques de dessin symbolique utilisées pour les opérateurs numériques portables de la chaîne ALLIANCE. Par ailleurs, on cherche à appliquer les techniques de logique floue à la génération automatique de vecteurs de test pour les circuits analogiques. (H. Aboushady, A. Derieux, M.Dessouky, A.Khouas, M.-M. Louërat,)

- Dans le domaine de la synthèse logique, les recherches s'orienteront vers la synthèse des circuits FPGA, ainsi que sur les techniques de partitionnement automatique de réseau

booléen, en vue d'intégrer les contraintes de placement dans le processus de synthèse. Un autre objectif est la reconnaissance automatique des registres dans une description VHDL séquentielle. (A.Caron, J.P.Chaput, A.Greiner, L.Jacomme, F.Petrot)

- Pour accélérer la validation fonctionnelle de ces systèmes intégrés très complexes, on peut utiliser des émulateurs matériels, qui sont des machines parallèles à grain très fin contenant un grand nombre de circuits programmables. Une telle machine a été installée à Jussieu dans le cadre d'une coopération avec la société Metasystèmes, pour des études visant principalement la simulation logico-temporelle. (P.Bazargan, A.Guettaf, L.Vuillemin)

La plupart des outils CAO développés ont été intégrés dans la chaîne ALLIANCE, qui est distribuée gratuitement sous la licence GNU, et est actuellement utilisée dans plus de 250 universités dans le monde pour l'enseignement ou la recherche. La diffusion de la chaîne ALLIANCE a largement contribué à la visibilité internationale du thème ASIM. C'est un outil précieux pour la conception de circuits avancés, et une plate-forme de développement irremplaçable pour les recherches en CAO. Nous souhaitons donc poursuivre la diffusion internationale de la chaîne ALLIANCE. Ceci nécessite un support technique qui est assuré depuis l'été 97 par un ingénieur contractuel à temps plein. (O.Sirol)

Projet indexation multimedia

L'activité «Indexation Multimédia» a démarré en 1996 à l'initiative de P. Faudemay. Elle vise plusieurs objectifs interdépendants :

- la compréhension et l'extraction des informations contenues dans les séquences vidéo.
- la recherche de documents multimédia (notamment de séquences vidéo) par le contenu.
- la réalisation de serveurs d'indexation capables de délivrer aux utilisateurs des vidéos personnalisées selon leur profil.

Ces serveurs pourront s'appuyer sur la machine MPC, dont ils devraient constituer l'une des applications, exploitant le fort parallélisme des entrées/sorties.

Le projet «Indexation Multimédia» indexe les documents multimédia à partir de l'image fixe et animée, du son (reconnaissance de la parole, reconnaissance du locuteur, alignement du script lorsqu'il existe sur la parole), des textes associés (script, conducteur, ...), des annotations des utilisateurs. Le projet est basé sur une collaboration étroite avec l'équipe Parole du LIP6. Ce projet est soutenu par le programme «Autoroutes de l'Information» à travers le projet TRANSDOC. Il participe d'autre part au projet Esprit AVIR. (G.Durand, P. Faudemay, J.Penné, R.Ruiloba, C.Seyrat, C. Thiénot)

Bilan synthétique des recherches

Dans le domaine de l'architecture des ordinateurs, le département ASIM du LIP6 a été fortement impliqué, depuis 1993, dans le développement d'une technologie d'interconnexion haute performance qui est devenue le standard IEEE 1355. Le département ASIM a été sollicité par différents industriels (Bull, SGS-Thomson, Parsytec, Thomson) pour participer à 4 projets européens visant le développement ou l'exploitation de cette technologie HSL. Les composants VLSI RCUBE et PCI-DDC, qui ont été entièrement conçus à l'Université Pierre et Marie Curie, sont actuellement utilisés dans plusieurs machines industrielles. Par ailleurs ces composants ont permis le lancement, début 1995 du projet MPC qui vise la réalisation d'une machine parallèle bas-coût à base de PCs. Le protocole de communication DDSLR (Direct Deposit State-Less Receiver) permet l'écriture directe en mémoire distante sans copie intermédiaire, pour exploiter la faible

latence du réseau HSL. Un premier prototype de cette machine, utilisant la carte réseau FastHSL, est opérationnel : Une application de simulation distribuée utilisant l'environnement de programmation PVM a pu être compilée et exécutée sur la plate-forme expérimentale du LIP6 en mai 98.

Le projet MPC possède un fort impact, puisqu'il existe des projets d'installation de plate-formes MPC à Versailles, Evry, Toulouse, Lyon, Marseille, et Amiens.

La carte FastHSL et les composants VLSI RCUBE et PCI-DDC sont commercialisés par la société Tachys Technologies, qui est une «start-up» du département ASIM du LIP6.

Dans le domaine des architectures spécialisées, le projet de coprocesseur SIMD RAPID2 a abouti à la réalisation d'une carte prototype qui a permis d'analyser en détail les performances d'une application de comparaison de séquences génétiques. Malgré les bons résultats obtenus par cette architecture spécialisée, la montée en puissance des stations de travail construites autour de processeurs standard nous a conduits à arrêter cet axe de recherche.

Dans le domaine des outils de CAO pour VLSI, nous avons démontré l'efficacité de l'approche de dessin symbolique pour des circuits numériques complexes, tels que le microprocesseur STACS ou le routeur RCUBE, et nous avons montré, avec le langage CAIRO, que cette approche pouvait être étendue aux circuits analogiques. Nous avons simultanément évalué, avec l'outil GENOPTIM, une autre approche pour la portabilité, fondée sur le concept de bibliothèque de cellules virtuelles. Cette approche a permis le développement, en collaboration avec le CEA, d'un circuit de convolution d'une complexité de 250 000 transistors. Dans le domaine de la synthèse logique, nous avons montré, avec l'outil FPMAP qu'il était possible d'utiliser efficacement les graphes de décision binaires pour la synthèse des circuits FPGA, et nous avons montré avec l'outil C4MAP que la synthèse directe de cellules complexes permet d'éviter la maintenance et la caractérisation d'une bibliothèque de cellules prédéfinies.

Dans le domaine des outils de vérification, nous avons démontré la possibilité d'une approche hiérarchique permettant de paralléliser les vérifications, et dans certains cas de les distribuer sur un réseau de stations de travail. Ceci concerne la vérification des règles de dessin (DRUC), la vérification temporelle (TAS) ou la simulation (ASIMUT). Nous avons amélioré les techniques d'abstraction fonctionnelle, qui sont à la base de la plupart des outils de vérification (YAGLE), en particulier dans le simulateur logico-temporel SWISS. Enfin, nous avons commencé à démontrer, dans le cadre d'une coopération avec le CNET, l'efficacité de l'approche probabiliste pour l'évaluation de la consommation électrique des circuits.

Dans le domaine des outils CAO pour la conception de systèmes intégrés, les résultats obtenus avec l'outil de synthèse d'architecture ALMA dans le projet de reconnaissance de caractères manuscrits PHRASES nous ont amenés à définir un nouvel outil de synthèse d'architecture : UGH conserve le principe d'ordonnancement sous contraintes de ALMA, mais accepte une spécification d'entrée en langage VHDL au niveau algorithmique. Par ailleurs, nous avons proposé, avec le simulateur PISIM, une méthode originale pour l'évaluation des performances des systèmes mixtes matériel/logiciel. Ces différents résultats ont conduit au démarrage de deux projets européens en collaboration avec SGS-Thomson et Philips respectivement.

La chaîne ALLIANCE a continué sa diffusion internationale. Elle est aujourd'hui exploitée dans plus de 250 universités. Elle a été sélectionnée par l'Université des Nations-Unies pour ses enseignements

en conception VLSI. Après avoir obtenu le prix Seymour Cray en 1994, ALLIANCE a été finaliste pour le «European Academic Software Award» en 1996.

Du point de vue valorisation industrielle, les recherches en CAO ont abouti à la création en 1997 et 1998, de deux « start-up » issues du département ASIM : la société AED vise la commercialisation de l'outil de développement de générateurs portables GENOPTIM, et la société AVERTEC commercialise l'analyseur de performances TAS. Enfin l'outil d'abstraction fonctionnelle YAGLE développé par le département ASIM a fait l'objet d'une cession de licence vers la société Bull qui l'a intégré dans son offre commerciale.

Enfin, les recherches portant sur l'indexation de documents multimedia, démarrées en 1996, ont déjà donné lieu à plusieurs publications et au dépôt d'un brevet sur une méthode d'analyse et d'indexation de l'image. Ces études ont également permis le démarrage du projet ESPRIT AVIR à partir de l'été 1998. Ce projet vise principalement l'accès intelligent aux documents audio-visuels.

Bilan détaillé des recherches

Projet Multi-PC

A.BOUARAOUA, E.COULON, J.L.DESBARBIEUX, A.FENYO, A.GOEURY, A.GREINER, J.J.LECLER, F.POTTER, V.REIBALDI, C.SPASEVSKI, I.SCHERSON, F.SILVA, F.WAJSBÜRT, B.ZERROUK

Le projet Multi-PC a démarré en janvier 1995, sous la responsabilité de A.Greiner. Il vise la conception et la réalisation d'une machine parallèle à bas coût dont les nœuds de calcul sont des cartes de PC interconnectées par un réseau hautes performances. Il s'appuie sur différents résultats obtenus dans l'équipe Architecture du LIP6:

Dès 1993, le laboratoire MASI a participé à la conception de la technologie de liaison série à 1 Gigabit/s, développée chez Bull par l'équipe de R.Marbot (thèses de A. Pierre-Duplessy 1997, et P. Couteaux 1997). Les liens physiques sont réalisés par de simples câbles coaxiaux de type «ethernet fin» et possèdent une longueur maximale de 5 m. Cette technologie HSL (High Speed Link) est bien adaptée à la réalisation de réseaux d'interconnexion pour machines parallèles. Les deux principaux avantages de cette technologie sont le faible encombrement et la faible consommation, qui permettent d'intégrer plusieurs ports série à 1 Gigabit/s sur une même puce.

En 1994, B.Zerrouk propose une architecture de routeur adaptatif intégré, utilisant la technologie HSL. Ce routeur possède des caractéristiques similaires au routeur C104 développé par la société INMOS. Comme le C104, c'est un routeur dynamique qui permet de construire des réseaux d'interconnexion de topologie quelconque. Il utilise une stratégie «wormhole» pour minimiser la latence, et une technique de routage par intervalles pour réduire la taille des tables de routage. A la différence du routeur C104, il possède une capacité de routage adaptatif permettant d'éliminer en partie les phénomènes de «points chauds» qui dégradent les performances du réseau. Surtout, il possède des liens dix fois plus rapides, et une latence dix fois plus faible que le C104 (Zerrouk et al. 1996). Le routeur RCUBE a été conçu par A.Greiner, F.Potter, V.Reibaldi et B.Zerrouk dans le cadre du projet ESPRIT OMI-HIC. Il a été fabriqué en technologie CMOS 0.5 micron par SGS-THOMSON (Thèse de V. Reibaldi 1997).

En 1995 et 1996, A.Goeury et B.Zerrouk, ont étudié une nouvelle architecture de routeur, dans le cadre du projet JESSI AE96, qui a fait l'objet d'une coopération entre Bull et le laboratoire MASI. La caractéristique de ce routeur TWIN est de contenir une mémoire tampon centralisée qui permet de limiter les phénomènes d'engorgement lorsque le réseau est fortement chargé. Pour étudier quantitativement les performances des routeurs RCUBE et TWIN, B.Zerrouk et A.Bouaraoua, ont développé l'environnement de simulation MILE, dans le cadre du projet ESPRIT OMI-MACRAME. Cet environnement a permis de comparer de façon quantitative et fiable différents algorithmes de routage pour différentes topologies de réseaux d'interconnexion (Zerrouk et al. 1997).

L'architecture générale de la machine MPC et le protocole de communication DDSLR ont été décrits en 1996 dans la thèse de F.Potter. Il s'agit d'une machine parallèle bas-coût dont les nœuds de calcul sont des cartes de PC, interconnectées par un réseau HSL, qui fournissent aujourd'hui le meilleur rapport performance/prix (A.Greiner et al. 1998). La carte réseau s'interface sur un bus d'entrées/sorties rapide (bus PCI), plutôt que sur le bus système, de façon à ne pas être prisonnier du choix d'un processeur, et de bénéficier de l'évolution rapide de la technologie des cartes processeurs. Le protocole de communication DDSLR (Direct Deposit State-Less Receiver) s'appuie sur un mécanisme d'écriture directe en mémoire distante sans aucune recopie intermédiaire. Pour éviter de charger inutilement les processeurs de la machine, ce protocole est mis en œuvre par le composant VLSI PCI-DDC, conçu par J.L.Desbarbieux, J.J.Lecler, A.Greiner, F.Potter, C.Spasevski, et F.Wajsburt, capable d'accéder directement à la mémoire principale dans le cadre du projet EUROPRO (F.Wajsburt et al. 1997). Le composant PCI-DDC a été fabriqué en 1997 en technologie CMOS 0.5 micron chez ALCATEL-MIETEC. Dans la machine MPC, il existe un routeur sur chaque carte réseau HSL. La fonction de routage est donc elle-même répartie, puisqu'il n'y a pas de routeur centralisé, ce qui rend l'architecture facilement extensible, et permet de construire des réseaux de topologie quelconque. La latence matérielle maximale, pour un réseau de plusieurs centaines de processeurs est de l'ordre de 5 micro-secondes.

Une première plate-forme matérielle MPC0 a été démontrée en février 97 à l'occasion de la conférence EDTC97 (J.J.Lecler et al. 1997). La machine MPC0 repose sur la carte réseau SmartHSL, développée par J.J.Lecler. Cette carte contient un routeur RCUBE et un processeur Motorola 56301, qui exécute le protocole de communication en micro-logiciel.

Une seconde plateforme matérielle MPC1 est opérationnelle et a été démontrée en mars 98 à l'occasion de la conférence DATE98. La machine MPC1 s'appuie sur la carte réseau FastHSL. Une carte FastHSL contient un routeur RCUBE et un contrôleur réseau PCI-DDC. Les couches logicielles de communication bas-niveau ont été développées et intégrées dans le noyau du système d'exploitation UNIX freeBSD par A.Fenyo, qui a également conçu un émulateur logiciel du réseau HSL, utilisant comme support matériel un simple réseau Ethernet. Grâce à cet émulateur, F.Silva et K.Mana ont pu développer parallèlement une version optimisée de l'environnement de programmation PVM. L'ensemble matériel/logiciel a été intégré début 98, et la première application de simulation distribuée utilisant PVM a été compilée et exécutée sur la plate-forme MPC1 en mai 98.

Entre 1996 et 1997, le projet MPC s'est élargi à deux autres équipes du LIP6 : L'équipe Calcul Formel (J.C.Faugère) et l'équipe Systèmes Distribués (B.Folliot et P.Sens), ainsi qu'à quatre laboratoires de la région parisienne intéressés par différentes études logicielles sur cette plate-forme matérielle: l'équipe Parallélisme du laboratoire PRISM (P. Feautrier et P. David), le département Informatique de l'ENST (I.Demeure), le laboratoire LARIA de l'Université de Picardie (G.Utard), et le département informatique de L'INT (P.Lalevée). Cette coopération s'organise autour d'un séminaire mensuel.

Il faut noter que les deux composants RCUBE et PCI-DDC sont actuellement utilisés dans au moins quatre projets de machines industrielles chez Thomson, Parsytec, Dolphin et au CERN. Ceci a conduit à la création d'une entreprise de valorisation industrielle: la société Tachys Technologies.

Bibliothèques portables pour circuits intégrés numériques et analogiques

H.ABOUSHADY, A.AMARA, Y.BODY, J.P.CHAPUT, A.DERIEUX, M.DESSOUKY, A.GREINER, D.HOMMAIS, M.M.LOUËRAT, L.LUCAS, F.PETROT, P.ROYANNEZ, F.WAJSBÜRT

Le développement de bibliothèques de cellules *portables*, c'est-à-dire indépendantes du fabricant de circuits et des procédés de fabrication reste l'un des problèmes clés de la conception de circuits VLSI. Le problème de la portabilité est encore plus aigu dans le cas des circuits mixtes numériques/analogiques.

Nous avons démontré que l'approche de dessin symbolique sur grille fixe (Greiner et al. 1995) assure la portabilité technologique en CMOS avec des performances voisines de l'approche optimisée (Combes et al. 1996, Royannez et al. 1995). Cette approche a été mise en œuvre pour le microprocesseur superscalaire STACS, d'une complexité de 875 000 transistors, qui contient aussi bien des cellules précaractérisées que des opérateurs optimisés. (Thèses de L. Lucas 1995 et F. Wajsburt 1995). La conception de ce circuit s'est appuyée sur le langage GENLIB, développé par F. Petrot, et intégré dans la chaîne de CAO Alliance (Bazargan-Sabet et al. 1995, Duhalde et al. 1995).

Cette approche a également été utilisée pour des cœurs de microprocesseurs, utilisables comme macro-cellules portables dans des circuits complexes: ceci concerne les processeurs Motorola 6800 (A.Derieux, D.Hommais), Intel 8086 (Y.Body, A.Greiner), DLX (P.Bazargan, J.Dunoyer, A.Greiner, M.M.Louërat), et MIPS R3000 (P.Bazargan, A.Greiner, M.M.Louërat)

A.Amara et P.Royannez ont étendu cette approche à la technologie numérique AsGa (Royannez et al. 1995 b). Une bibliothèque de cellules précaractérisées ainsi que des générateurs optimisés ont été conçus pour la circuiterie AsGa MESFET, et ont démontré la généralité de l'approche de dessin symbolique. (thèse de P.Royannez 1996)

M.M. Louërat, A.Greiner et M.Dessouky ont proposé une extension du langage GENLIB, appelée CAIRO, qui permet de décrire le dessin des masques d'un circuit analogique à partir du schéma dimensionné en transistors, alors que les dimensions des transistors sont des paramètres génériques. Le langage CAIRO est un ensemble de fonctions C. Il utilise la technique de dessin symbolique sur grille fixe et possède des fonctions originales d'optimisation du facteur de forme d'un bloc analogique en fonction de contraintes externes (Dessouky et al. 1997).

M.M. Louërat et H. Aboushady ont démarré en 1996, dans le cadre d'une convention de coopération avec le département électronique de l'ENST, une activité de recherche sur la synthèse de fonctions analogiques. Le point de départ est une spécification définissant les paramètres fonctionnels globaux (type vitesse, consommation). Le résultat est un schéma dimensionné en transistors. On s'intéresse à des convertisseurs Sigma/Delta à courants commutés, en technologie CMOS numérique standard (Oliaei et al. 1997, a, Oliaei et al. 1997, b).

Les opérateurs présents dans les chemins de données manipulent généralement des vecteurs de bits. Le compilateur de chemin de données FPGEN et le routeur DPR visent à exploiter ces régularités structurelles (J.P. Chaput).

Les outils logiciels GENLIB, GENVIEW, FPGEN et DPR sont distribués dans le cadre de la chaîne ALLIANCE.

Outils de synthèse logique

A.CARON, N. DICTUS, A. GREINER, L. JACOMME, E. PRADO, C. SARWARY

La sortie habituelle d'un outil de synthèse logique est un schéma logique utilisant les cellules d'une bibliothèque de cellules pré-caractérisées. N. Dictus a montré qu'il était possible d'utiliser le compilateur de cellules complexes C4 plutôt que les cellules d'une bibliothèque prédéfinie. Les cellules sont générées par C4 de façon dynamique en fonction des besoins de l'outil de synthèse (Dictus et al, 1995). Le schéma résultant peut être exploité par les outils de placement/routage standard des chaînes de CAO commerciales telles que COMPASS ou CADENCE. La surface de silicium occupée après placement/routage est plus faible pour des performances temporelles équivalentes. Dans les deux cas (bibliothèque de cellules précaractérisées, ou cellules compilées) le schéma obtenu est sous-optimal pour ce qui concerne les performances temporelles. Une méthode d'optimisation des performances, à fonctionnalité constante a été proposée et implantée dans l'outil NETOPTIM (Thèse N. Dictus 1996).

Les automates d'états finis utilisés dans les composants VLSI peuvent comporter plusieurs centaines d'états. Les performances temporelles et la surface de silicium du circuit réalisant physiquement l'automate dépendent fortement du codage des états. C.Sarwary a développé un algorithme d'optimisation du codage des états en vue de la synthèse. La fonction de coût utilise une forme particulière des diagrammes de décision binaire : les graphes d'expressions factorisées, et une stratégie de parcours de l'espace des solutions de type «recuit simulé». L'efficacité de cette approche a été implantée dans l'outil de synthèse d'automates SYF (Thèse C. Sarwary 1995).

Les circuits programmables (FPGA) sont une cible privilégiée pour la synthèse logique. Le processus de synthèse logique est traditionnellement découpé en deux étapes (optimisation du réseau booléen indépendante de la technologie cible, puis projection structurelle dépendant de la technologie). E.Prado et A.Greiner ont montré qu'il était possible et efficace de fusionner ces deux étapes dans le cas des circuits FPGA (Prado et al, 1995). On peut alors définir et utiliser dans la phase d'optimisation du réseau booléen des fonctions de coût spécifiques à chaque matrice FPGA cible. Cette approche a été démontrée dans le cas des circuits XILINX et ACTEL (Thèse E. Prado 1996). Elle s'est concrétisée dans l'outil FPMAP (A.Caron, A.Greiner, E.Prado)

La spécification d'entrée des outils de synthèse est le plus souvent écrite en langage VHDL, alors que ce langage a été défini en vue de la simulation et non en vue de la synthèse. Les outils de synthèse au niveau transfert de registres, tels que SYNOPSIS, imposent des contraintes syntaxiques pour la reconnaissance des éléments mémorisants. Ceci peut conduire à une synthèse qui n'est pas en accord avec la sémantique de simulation (Bawa et al, 1996). Utilisant le formalisme des réseaux de Petri pour représenter la sémantique d'un processus VHDL synchrone, L.Jacomme et R.Bawa ont développé une technique de reconnaissance automatique des registres qui permet de relâcher les contraintes sur la syntaxe, tout en garantissant que le circuit synthétisé respecte la sémantique de simulation VHDL (A.greiner, L.Jacomme).

Les outils logiciels C4MAP, NETOPTIM, SYF et FPMAP sont distribués dans le cadre de la chaîne ALLIANCE.

Conception de systèmes intégrés et synthèse d'architecture

I.AUGÉ, R.BAWA, J.Y.BRUNEL, A.GREINER, M.HERVIEU, D.HOMMAIS, F.PETROT

Les technologies submicroniques permettent aujourd'hui d'intégrer un système complet dans un unique composant VLSI. L'intérêt de ce type de composant est de supprimer les délais induits par les interfaces, et de réduire considérablement la taille et la consommation électrique des cartes électroniques, ouvrant la porte aux applications portables. Ce type d'application peut être décrit comme un ensemble de processus concurrents : les processus logiciels s'exécutent sur un ou plusieurs cœurs de microprocesseurs embarqués, alors que les processus matériels s'exécutent sur des coprocesseurs spécialisés. Ces coprocesseurs spécialisés sont généralement obtenus par synthèse à partir d'une description séquentielle écrite en langage C ou VHDL.

Un des enjeux consiste à trouver une partition optimale de l'application visée entre logiciel et matériel, en minimisant la surface de silicium et la consommation, et en maximisant la performance, ce qui nécessite de pouvoir explorer rapidement l'espace des solutions architecturales. Il faut donc que les outils de synthèse acceptent des spécifications fonctionnelles paramétrables. Une première expérimentation a été menée dans le cadre du projet PHRASE, qui avait pour but la définition d'un système intégré pour la reconnaissance des caractères manuscrits. Ce projet a été mené en collaboration avec le Laboratoire d'Électronique de Philips, et s'est appuyé sur l'outil de synthèse d'architecture ALMA, développé par I.Augé et J.Y. Brunel. Cet outil utilise le langage A, qui permet de décrire des coprocesseurs spécialisés, en introduisant des paramètres structurels (largeur des bus, taille des mémoires), ce qui permet d'explorer effectivement l'espace des solutions architecturales (Thèse de J.Y. Brunel 1996). Le projet PHRASES a abouti à la conception et à la fabrication effective d'un coprocesseur VLSI de type classifieur neuronal RBF (Thèse M. Hervieu 1996).

Cette expérience a mis en lumière le besoin d'un environnement de simulation et de prototypage permettant d'évaluer de façon fiable les performances obtenues pour une solution architecturale particulière. La difficulté est le temps de simulation car il faut pouvoir exécuter des millions de cycles sur des systèmes mixtes comportant des composantes matérielles et des composantes logicielles. Le simulateur cycle par cycle PISIM met en œuvre une technique d'ordonnancement statique qui permet d'atteindre des vitesses de simulation de 150 000 cycles par seconde sur une station de travail SPARC 10. Ceci représente un gain d'un facteur 7 par rapport aux simulateurs événementiels (Hommais et al.1997, Pétrot et al.1997).

Un autre enjeu est la réutilisation de modules existants, matériels ou logiciels. Pour cela, les différents processeurs ou coprocesseurs doivent communiquer entre eux à travers des interfaces normalisées. Le PIBUS est le standard retenu par la plupart des industriels européens. Nous avons défini une architecture de communication générique utilisant une bibliothèque de modules de communication paramétrables. Cette approche permet de masquer la complexité du protocole d'accès au PIBUS dans la phase d'exploration architecturale. La stratégie d'allocation du bus constitue l'aspect de plus bas niveau de l'ordonnancement des tâches. Afin de permettre l'implémentation efficace de systèmes temps réel, plusieurs solutions prenant en compte la nature périodique ou aléatoire des requêtes sont étudiées (A. Greiner, F. Petrot, D. Hommais).

Une troisième direction de recherche porte sur la synthèse de coprocesseurs. L'algorithme d'ordonnancement sous contrainte mis en œuvre dans l'outil ALMA possède des propriétés

originales : il permet de tenir compte — à la nano-seconde près — des caractéristiques temporelles des opérateurs présents dans le chemin de données. Il permet au concepteur d'imposer un temps de cycle, et supporte les opérations multi-cycles et le chaînage. Le point faible de l'approche ALMA est le langage d'entrée: la sémantique du langage A n'est pas une sémantique séquentielle de type C ou VHDL. Une méthode permettant d'exploiter l'algorithme d'ordonnement d'ALMA tout en partant d'une description comportementale séquentielle VHDL ou en C a été définie (I.Augé et al 1997) et est en cours d'implantation dans l'outil de synthèse UGH.

Outils et méthodes de vérification des circuits intégrés VLSI

N.ABDALLAH, G.AVOT, P.BAZARGAN, G.E.DESCAMPS, K.DIOURY, J.DUNOYER, A.GUETTAF, A.GREINER, F.ILPONSE, A.LESTER, M.M.LOUËRAT, P.REMY, L.VUILLEMIN, H.VUONG

Un des maillons importants de la chaîne de CAO est le simulateur logique ASIMUT (Thèse H.Vuong 1997). Ce simulateur accepte des modèles utilisant un sous-ensemble du langage de description VHDL (affectations concurrentes). Les expressions booléennes sont représentées par des graphes de décision binaires (ROBDD), ou des arbres, et on utilise une technique d'évaluation directe sur ces structures de données arborescentes. (P.Bazargan, H. Vuong).

Les temps de simulation sont un point critique dans la conception d'un circuit intégré. La solution classique pour accélérer la simulation logique passe par la distribution sur un réseau de machines. Le circuit à simuler est découpé en plusieurs sous-circuits et chaque sous-circuit est pris en charge par une machine. La performance de la simulation distribuée ainsi obtenue dépend en grande partie de la qualité du découpage. (A.Guettaf et al. 1998) Une technique de découpage basée sur la duplication de certaines parties du circuit afin de mieux équilibrer la charge des machines et la charge du réseau est en cours d'évaluation (P. Bazargan, A. Guettaf).

Une autre étape coûteuse dans le processus de conception des circuits intégrés est la vérification des règles de dessin. La complexité des circuits croît plus vite que la puissance des stations de travail: le dessin des masques de fabrication d'un circuit d'un million de transistors peut contenir 40 à 50 millions de rectangles. Le vérificateur de règles de dessin DRUC s'appuie sur la hiérarchie structurelle du circuit pour paralléliser la vérification. (thèse G.E. Descamps 1996) Nous avons montré qu'il était possible de mettre en œuvre de façon efficace une approche hiérarchique et distribuée sur un réseau de stations de travail. (G.E.Descamps, A.Greiner)

Avec l'explosion du marché des appareils portables, la consommation électrique est devenue un problème critique. L'évaluation avant fabrication de la consommation des circuits représente un facteur aussi important que la fréquence de fonctionnement ou la surface. Nous avons exploré une approche probabiliste pour l'évaluation de la consommation. D'un côté, compte tenu des délais de propagation dans les portes, on évalue la probabilité qu'un signal prenne la valeur 1 (ou 0). De l'autre, on calcule le nombre moyen de transitions des signaux dans le circuit. L'exactitude de ces calculs dépend de la prise en compte correcte des corrélations entre les signaux (Dunoyer J. et al. 1996, 1997). Cette étude est soutenue et financée par un contrat avec le CNET (J.Dunoyer, P.Bazargan).

La vérification temporelle des circuits intégrés de grande complexité est un autre problème auquel sont confrontés les concepteurs. Une analyse statique des temps de propagation permet de vérifier si un circuit respecte les contraintes de fréquence de fonctionnement, indépendamment des stimuli qui lui sont appliqués. Seule une approche hiérarchique

incrémentale permet de traiter des circuits de plusieurs millions de transistors. Nous avons défini une méthode hiérarchique multi-niveaux, qui a été intégrée dans l'outil TAS (Dioury K. et al. 1997). De plus, cette approche hiérarchique permet de prendre en compte les retards dus aux interconnexions. Ces retards sont liés à la résistance intrinsèque des fils d'interconnexion, et sont tout aussi importants que les temps de propagation à travers les portes dans les technologies fortement sub-micronique (G.Avot, K.Dioury, A.Greiner, M.M.Louerat).

La vérification temporelle aussi bien que le calcul de la consommation se basent sur une description du circuit sous forme d'un réseau de portes. Pour obtenir ce réseau, il faut partir du dessin des masques du circuit après extraction, et utiliser un outil d'abstraction fonctionnelle. Dans le cadre de sa thèse, J.B. Guignet a développé chez Bull une méthode d'abstraction fonctionnelle, qui s'est incarnée dans le logiciel GROG, aujourd'hui commercialisé par Bull (Thèse J.B.Guignet 1998). Cet outil utilise une technique de reconnaissance de formes qui impose l'existence d'une bibliothèque de schémas prédéfinis. En parallèle, A.Lester a poursuivi une approche purement algorithmique, dérivée de l'approche proposée dans la thèse de M.Laurentin, qui permet de traiter des circuits CMOS sans bibliothèque prédéfinie (Lester A. et al. 1997). Les deux difficultés portent sur la reconnaissance des éléments mémorisants et sur le traitement des transistors de passage. Cette approche s'est incarnée dans l'outil YAGLE. L'étude a été soutenue par le projet JESSI AE82, en coopération avec Bull et SGS-Thomson. La technologie YAGLE fait l'objet d'un contrat de cession de licence entre l'Université Pierre et Marie Curie et la société Bull : la technologie YAGLE sera intégrée dans la prochaine version de l'outil GROG de Bull (P.Bazargan, A.Greiner, J.B.Guignet, A.Lester).

Un des problèmes majeurs de la conception des circuits mixtes numérique/analogique est la validation fonctionnelle finale. N.Abdallah et P.Bazargan ont conçu le simulateur logico-temporel SWISS (Abdallah et al. 1997, Thèse N.Abdallah 1998), qui s'appuie sur la technologie d'abstraction fonctionnelle YAGLE et utilise un modèle d'événement original prenant en compte les temps de commutation des signaux (N.Abdallah, P.Bazargan).

P. Remy a développé un ensemble d'outils pour la vérification des circuits en technologie AsGa Mesfet, du point de vue fonctionnel, temporel et électrique (thèse P.Remy, 1997). La logique Asga DCFL est une circuiterie «à conflit» : les contraintes de dimensionnement électrique des transistors sont très fortes, car une erreur de dimensionnement se traduit par une perte totale de fonctionnalité. L'approche proposée se fonde sur une classification a priori des portes AsGa DCFL et sur une technique de reconnaissance de formes proche de celle utilisée dans l'outil GROG (A.Greiner, P.Remy).

Les outils ASIMUT, DRUC, TAS et YAGLE sont distribués dans le cadre de la chaîne ALLIANCE.

Test des circuits et systèmes

P.BUKOVJAN, A.DERIEUX, O.FLORENT, A.KHOUS, M.MARZOUKI, W.MAROUFI, H.MEHREZ, C.QUENNESSON, H.REJOUAN

Pour maîtriser la complexité croissante des circuits, O.Florent a étudié une technique de partitionnement a posteriori du circuit à tester (Thèse O.Florent 1998). À partir de la « netlist » de portes, et en s'appuyant sur la circuiterie spécifique au test, comme les structures « scan-path », les structures BIST ou les structures « boundary-scan », on cherche à découper le circuit initial en sous-circuits, non nécessairement disjoints, plus faciles à tester. Cette approche permet également de paralléliser la génération des vecteurs de test (A.Derieux, O.Florent).

Une autre approche pour le test est d'inclure une circuiterie spécifique permettant de rendre le circuit auto-testable. Cette technique nécessite la mise en œuvre de générateurs internes de vecteurs de test et de circuits d'analyse des résultats (H.Rejouan et al. 1997). La génération déterministe, ou quasi-déterministe peut être réalisée par l'implémentation soit d'automates finis, soit d'automates cellulaires (H.Mehrez, H.Rejouan).

Une étude concernant la sûreté de fonctionnement a été menée en coopération avec le CEA-DAM sous la responsabilité de H.Mehrez (Thèse C.Quennesson 1997). L'idée est d'intégrer dans les circuits les mécanismes de détection de pannes pouvant se produire pendant le fonctionnement réel (Quennesson et al. 1996). La thèse de C.Quennesson propose une méthode et un outil permettant d'évaluer le taux d'intégrité d'une architecture redondante (H.Mehrez, C.Quennesson).

A la suite du rattachement de Meryem Marzouki au laboratoire LIP6 en septembre 1997, deux nouvelles activités sont venues compléter les recherches du laboratoire dans le domaine du test.

La synthèse de haut niveau en vue de la testabilité est développée selon une approche pragmatique, visant à générer des architectures testables, par transformation des algorithmes d'allocation et d'ordonnancement. Une méthodologie d'allocation en vue de la testabilité est en cours de développement, fondée sur une recherche du meilleur compromis coût/qualité pour un circuit à synthétiser, en fonction des bibliothèques de cellules disponibles (M. Marzouki, P. Bukovjan).

Par ailleurs, la conception de systèmes testables s'appuie sur un outil d'évaluation de la testabilité et de proposition de solutions de testabilité aux niveaux circuit, carte, MCM (circuit multi-puce) et système (Maroufi et al. 1997 et 1998). Des contrôleurs de test aux niveaux carte et système sont générés de façon automatique, et la cohérence globale du test au niveau du système est vérifiée (M.Marzouki, W. Maroufi).

Projet RAPID2

E. ABÉCASSIS, D. ARCHAMBAUD, T. CRUANES, F. DROMARD, P. FAUDEMAY, A. GREINER, P. HOMOND, J. PENNÉ, D. I. SARAIVA-SILVA, L. WINCKEL

Le projet RAPID-2, commencé en 1993, avait pour but le développement d'une architecture SIMD, associative, systolique et programmable, basée sur un chipset de deux composants VLSI. Cette architecture permet la gestion de collections de type a priori quelconque (listes, tableaux, etc...), ainsi que de chaînes de caractères (Faudemay 1995). Parallèlement, se sont poursuivies différentes études portant sur des environnements de développement pour des applications distribuées à objets (Donsez et al. 1995, Donsez et al. 1996), qui ont donné lieu à plusieurs thèses (Abécassis 1995, Homond 1995, Cruanes 1996).

Il est rapidement apparu que l'architecture RAPID2 était bien adaptée à la comparaison de séquences génétiques, selon l'algorithme de Smith et Waterman. Cette comparaison est très coûteuse en temps, et la comparaison des bases de séquences existantes peut nécessiter des années de temps de calcul. Nous avons donc mis en place l'équipe du projet et obtenu un financement du Groupement d'Études et de Recherches sur les Génômes (GREG). L'architecture a été adaptée à l'application, et celle-ci a été entièrement microprogrammée et simulée sur un simulateur cycle par cycle, par J. Penné et I. Saraiva (Thèse I.Saraiva 1995). L'architecture est programmable dans une extension du langage C, qui permet le co-développement du logiciel présent sur la machine hôte et du micrologiciel présent sur la carte (Faudemay 1995, Faudemay 1996, thèse de L.Winckel 1998).

La carte coprocesseur RAPID-2 a été réalisée sous la responsabilité de F.Dromard. Les deux composants VLSI ont été conçus par D.Archambaud sous la responsabilité de A.Greiner. (Thèse D.Archambaud 1995). Le composant d'exécution parallèle est un circuit VLSI contenant en principe 64 processeurs élémentaires 8 bits. Une version à 16 processeurs a été fabriquée avec succès en technologie CMOS 0,7 micron. Le composant de contrôle, également fabriqué en technologie CMOS 0.7 micron, comportait un défaut. Il a été réimplanté par F.Dromard en technologie FPGA XILINX.

L'architecture proposée permet de gagner deux ordres de grandeur de performance par rapport à un traitement purement logiciel sur un processeur séquentiel. Cependant, la montée en puissance des stations de travail construites autour de processeurs standard nous a conduits à arrêter cet axe de recherche.

Architectures spécialisées pour le traitement numérique intensif

M. ABERBOUR, Y. DUMONTEIX, A. HOUELLE, H. MEHREZ, N. VAUCHER

Les objectifs principaux sont la réutilisation des architectures développées, la généricité dynamique, la portabilité technologique et informatique avec des objectifs de performances élevées. Pour atteindre ces objectifs, il a fallu développer une nouvelle méthode de conception qui s'applique particulièrement aux architectures dédiées au traitement numérique.

L'environnement de développement GENOPTIM permet de créer des générateurs de blocs fonctionnels en utilisant le concept de «bibliothèque virtuelle» sans tenir compte de la technologie cible et de ses caractéristiques électriques et topologiques. GENOPTIM permet de générer automatiquement les différentes vues pour la conception en tenant compte des caractéristiques réelles de la technologie utilisée ainsi que de la plate-forme de CAO choisie (thèse de A. Houelle 1997).

L'équipe a développé, grâce à l'outil GENOPTIM, une bibliothèque très riche de générateurs d'opérateurs arithmétiques optimisés en performance et en surface (Aberbour et al. 1998). Cette bibliothèque permet des temps de développement très courts pour des unités arithmétiques pouvant être insérées aussi bien dans les processeurs à usage universel que dans les architectures à flots de données (thèse de N.Vaucher 1997). La bibliothèque développée concerne les opérations les plus usuelles (addition, soustraction, multiplication, division et racine carrée) avec des représentations arithmétiques en virgule fixe et flottante de la norme IEEE-754. Dans ce thème de recherche, des collaborations ont été développées principalement avec A. Guyot du laboratoire TIMA de l'INPG à Grenoble ainsi qu'avec J.M. Muller et A. Mignotte du LIP de l'ENS de Lyon dans le cadre du GDR-PRC ANM.

Un troisième volet porte sur les architectures spécialisées pour la reconnaissance de formes. On s'appuie sur une méthode de reconnaissance de formes développée à Berkeley par Clarck. On cherche à évaluer la possibilité d'une implantation matérielle et logicielle permettant des fonctionnements temps réel pour des applications de reconnaissance aussi bien civiles que militaires (Aberbour et al. 1997). Cette méthode met en œuvre des techniques de filtrage de Gabor, d'extraction de signature et de classification par un réseau neuronal. Des collaborations ont été développées avec le CEA ainsi qu'avec deux universités brésiliennes (Prof. Salek de l'UFRJ et Prof. Carvalho de l'UFPB) proposant d'autres méthodes de reconnaissance (Carvalho et al, 1996). Une étape importante a été la réalisation d'un circuit parallèle de convolution d'une complexité de 250.000 transistors (Aberbour et Al, 1996).

Chaîne de CAO ALLIANCE

M.ABERBOUR, N.ABDALLAH, G.AVOT, P.BAZARGAN, L.BURGUN, A.CARON, J.P.CHAPUT, A.DERIEUX, N.DICTUS, G. E. DESCAMPS, K.DIOURY, A.GREINER, L.JACOMME, P.KIANI, A.LESTER, M.M.LOUËRAT, M.M.PAGET, F.PETROT, N.VAUCHER, F.WAJSBÜRT

La chaîne de CAO ALLIANCE, qui intègre les différents outils logiciels CAO développés dans le département ASIM, n'est pas à proprement parler un projet de recherche. C'est plutôt un outil de valorisation de la recherche qui contribue à la visibilité internationale de l'Université Pierre et Marie Curie. Elle est constituée d'une trentaine d'outils logiciels qui peuvent être utilisés indépendamment. Cependant tous ces outils partagent une infrastructure commune constituée par un ensemble de structures de données et de fonctions d'accès qui garantissent l'interopérabilité entre les différents outils de la chaîne. Cette infrastructure a pour l'essentiel été développée par A. Greiner, F. Pétrot, P. Bazargan, L. Burgun, L. Jacomme et F. Wajsburt.

La chaîne ALLIANCE est utilisée de façon interne par les chercheurs du laboratoire comme outil pour concevoir des circuits complexes (microprocesseur STACS, routeur RCUBE, etc.), ou comme plate-forme pour développer rapidement de nouveaux outils CAO expérimentaux.

La chaîne ALLIANCE est distribuée gratuitement par FTP anonyme depuis 1993, et elle est installée aujourd'hui dans plus de 250 universités dans le monde, essentiellement pour l'enseignement. Chaque année, plusieurs professeurs étrangers viennent se former à l'utilisation d'ALLIANCE: G. Paez-Monzon (Venezuela), J.P. Martinez (Espagne), W. Sakowski, P. Penkala, et T. Garbolino (Pologne), M. Hassanin (Egypte), J. Salek Aude et A. Cavalcanti (Bresil). De plus, ALLIANCE a été sélectionnée, depuis 1995 comme outil d'enseignement en conception de circuits intégrés VLSI par l'Université des Nations-Unies. Celle-ci organise chaque année, avec l'aide du département ASIM (N.Abdallah), une formation de six semaines pour les scientifiques des pays en voie de développement, rassemblant une cinquantaine d'étudiants.

La chaîne ALLIANCE, qui a obtenu en 1994 le prix Seymour Cray, a de plus été finaliste du «European Academic Software Award» en 1996.

Différents outils ont été intégrés dans la chaîne ALLIANCE au cours des deux dernières années : FPMAP (A.Caron, E. Prado), NETOPTIM (N.Dictus), TAS (K. Dioury et P. Kiani), YAGLE (A.Lester), FPGEN (J.P. Chaput), DREAL (L. Jacomme), DRUC (G.E. Descamps). Par ailleurs, N. Vaucher et M. Aberbour ont interfacé les bibliothèques portables de la chaîne ALLIANCE avec l'environnement de conception industriel CADENCE/OPUS, de façon à pouvoir utiliser les outils de conception CADENCE tout en bénéficiant de la portabilité assurée par les bibliothèques symboliques d'ALLIANCE (Aberbour et al. 1996). F.Wajsburt et L.Lucas ont fait de même pour la chaîne industrielle COMPASS et A. Derieux pour SYNOPSIS. M.-M. Paget et M.-M. Louërat ont développé ou amélioré différents didacticiels ou tutoriels visant à faciliter l'apprentissage de la conception VLSI avec ALLIANCE.

Ces résultats n'ont pu être obtenus que grâce à la qualité du support technique et administratif dont bénéficie le département ASIM. La maintenance — matérielle et logicielle — des 100 stations de travail et serveurs UNIX gérés par le département (60 machines pour le réseau Recherche, 40 machines pour le réseau Enseignement) est assurée par G.-E. Descamps, qui a obtenu en 1995 le Cristal du CNRS. Depuis 6 ans, les contrats de recherche du département représentent un montant annuel supérieur à 5 MF, soit plus de 90% du budget de fonctionnement du département. Ceci représente une très lourde charge

de gestion administrative et financière, qui est assurée par N. Fouque. Cependant, les moyens techniques et administratifs sont notoirement sous-dimensionnés par rapport au budget et au parc matériel gérés par le département.

Systèmes et méthodes d'indexation de documents multimédia

G. DURAND, P. FAUDEMAY, J. PENNÉ, R. RUILOBA, C. SEYRAT, C. THIENOT

Dans un premier temps, les recherches se sont développées dans le cadre du projet TRANSDOC, qui est financé par le Ministère de l'Industrie dans le programme «Autoroutes de l'Information». Le projet TRANSDOC a commencé en novembre 1996.

Le Projet Indexation Multimédia du LIP6 est un projet de recherche inter-thèmes et multi-disciplinaire. Il s'appuie sur la coopération entre l'Équipe Indexation Multimédia du thème ASIM, et l'Équipe Parole du thème APA. Cette approche permet d'associer les méthodes d'analyse de l'image, de représentation des connaissances et de système de l'équipe Multimédia, avec les méthodes très avancées de l'équipe Parole en dictée vocale, reconnaissance du locuteur et classification de la parole.

Les tâches étudiées plus spécialement par l'Equipe Indexation Multimédia dans ce projet sont notamment :

- la segmentation spatiale de l'image fixe en objets sémantiques,
- l'étude du mouvement et des actions dans l'image animée,
- la segmentation temporelle de vidéos en plans, en scènes (suites de plans), en sujets, en micro-segments,
- l'analyse multi-modale de la vidéo (analyse croisée de l'image et du son),
- la recherche d'images fixes ou de séquences par l'exemple,
- l'apprentissage de concepts visuels à partir de collections d'objets,
- les interfaces pour la recherche dans des vidéos,
- le filtrage de vidéos par rapport au contenu dans une approche «push»,
- la compréhension du référentiel de l'utilisateur par des agents intelligents,
- l'annotation des documents multi-média par plusieurs utilisateurs sur l'Internet,
- la réalisation d'une architecture client-serveur pour l'indexation des vidéos,
- l'étude de langages de description de contenus multimédia (MPEG-7),
- l'étude et la réalisation de prototypes de moteurs de recherche génériques pour la vidéo,
- le couplage d'architectures de mémoire tertiaire avec des architectures distribuées ou parallèles (telles que la MPC).

L'architecture client-serveur est en cours de développement à partir de clients Java et de serveurs en C++ sous Unix, destinés à communiquer avec le client à travers l'Internet ou des réseaux à large bande (ATM, etc...).

Les points forts de l'équipe Indexation Multimédia sont notamment la résolution pour une large part d'un problème de segmentation spatiale de l'image statique, considéré comme « quasi impossible » par de nombreux auteurs jusqu'à une période récente, la coopération entre les méthodes d'analyse de l'image et du son, enfin la participation effective de

l'équipe Multimédia du LIP6 à l'étude de langages de description de contenus multimédia dans le contexte du développement des normes MPEG-4 et MPEG-7.

Publications

Livres (1)

Fenyo A., Le Guern F., Tardieu S., Raccorder son réseau d'entreprise à l'Internet, Éditions Eyrolles, 1997, 513 p + CD-Rom pour Mac/PC/Unix.

Publications parues dans des revues, notoriété importante (4)

Aberbour M., Houelle A., Mehrez H., Vaucher N., Guyot A., On Portable Macro-Cell FPU Generators for Division and Square Root Operators Complying with the full IEEE-754 Standard, IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems, March 1998, Volume 6, Number 1, pp. 114-121.

Combes M., Dioury K., Greiner A., A Portable Clock Multiplier Generator Using Digital CMOS Standard Cells, In IEEE Journal of Solid-State Circuits (JSSC), vol. 31, n° 7, July, 1996, pp. 958-965.

Greiner A., David P., Desbarbieux J.-L., Fenyo A., Lecler J.-J., Potter F., Reibaldi V., Wajsbürt F., Zerrouk B., La machine MPC, Le calculateur Parallèle, 1998.

Zerrouk B., Reibaldi V., Potter F., Greiner A., Derieux A., The HIC serial link technology and associated router, Real Time Magazine, August 1996.

Publications dans des actes de congrès ou des ouvrages de synthèse, notoriété importante (52)

Aberbour M., Houelle A., Mehrez H., Vaucher N., Guyot A., A Timing Driven Adder Generator Architecture, Proceedings of the International Conference on Very Large Scale Integration (VLSI'97), Gramado, Brasil, August 1997.

Aberbour M., Vaucher N., Derieux A., Teaching the Design of a Chip under the Cadence Opus Environment Using the Alliance Cells Libraries, IEEE Conference on Microelectronic Systems Education 97, Arlington, VA, USA, July 1997.

Dioury K., Greiner A., Rosset-Louërat M.-M., Accurate static timing analysis for deep submicronic CMOS circuits, Proceedings of the International Conference on Very Large Scale Integration (VLSI'97), Gramado, Brasil, August 1997, pp. 439-450.

Abdallah N., Bazargan Sabet P., Dunoyer J., SWISSE: A Fast Switch-Level Timing Simulator with Slope Effects for Large Digital MOS Circuits, Proceedings of the 4th IEEE International Conference on Electronics Circuits and Systems (ICECS'97), December 1997, Cairo, Egypt, pp. 875-879.

Aberbour M., Ahmad F., Mehrez H., A Hardware Implementation of an RBF Neural Network : Architecture and Design Methodology, Proceedings of International Conference on Signal Processing and Technology 97, San Diego, USA, September 1997.

Aberbour M., Houelle A., Mehrez H., Vaucher N., Besencenet G., Dupont-Nivet E., Durbin F., Garrié T., Tissot A., A Parametrized Real Time Image Convolvor, Proceedings of the International Conference on Signal Processing Applications and Technologies (ICSPAT'96), Boston MA USA, October 1996, vol. 2, pp. 1885-1889.

- Augé I., Bawa Rajesh K., Guerrier Pierre, Greiner A., Jacomme L., Pétrot F.**, User Guided High Level Synthesis, Proceedings of the International Conference on Very Large Scale Integration (VLSI'97), Gramado, Brasil, August 1997, pp. 464-475.
- Bawa R., Guerrier P., Jacomme L., Bazargan Sabet P.**, An Approach to Behavioural Synthesis From a Formal Model of VHDL, Proceedings of the VHDL International User's Forum, Durham, North Carolina, USA, October 1996, pp. 117-126 .
- Bazargan-Sabet P., Dunoyer J., Greiner A., Rosset-Louërat M.-M.**, A System Level Teaching Environment for Designing the 32 bit DLX Microprocessor, Proceedings of the 1st European Workshop Microelectronics Education, Grenoble, France, February 1996, pp. 197-200.
- Body Y., Dromard F., Greiner A., Paget M.-M., Pétrot F.**, SIMIPS : a cycle-precise interactive simulator for teaching microprocessor architecture, Proceedings of the Fourth International Conference on Computer Aided Learning and Instruction in Science and Engineering (CALISCE'98), Göteborg, Swedish, June 1998 .
- Chen L., **Donsez D., Faudemay P.**, Design of U-Doc, a research vehicle for hyper document retrieval on the Internet, International Workshop BIWITT 97, Biarritz, July 1997.
- Chen L., **Faudemay P.**, Multicriteria video segmentation for TV news, Proceedings of the First IEEE Workshop on Multimedia Signal Processing, Boston, June 1997.
- Chen L., Ramos F., Bui M., **Donsez D., Faudemay P.**, Multi-agents based dynamic request placement strategies in fully distributed information systems, 9th Int'l Conf. on Parallel and Distributed Computing Systems (PDCS'96), Dijon, France, September 1996.
- Debaud P., Dupont-Nivet E., Quennesson C., Mehrez H.**, The Minterm's Method. An Efficient Fault Model, IEEE European Test Workshop 1996, Montpellier France, June 1996, pp. 233-237.
- Dunoyer J., Abdallah N., Bazargan-Sabet P.**, A symbolic simulation approach in resolving signal's correlation, Proceedings of the 29th Annual Simulation Symposium, IEEE Computer Society and Society for Computer Simulation, New Orleans, Louisiana, U.S.A., April 1996, pp. 203-211.
- Dunoyer J., Bazargan-Sabet P., Abdallah N.**, Efficient bus design rules checking using supergates analysis and symbolic simulation, Proceedings of the 4th international workshop on Symbolic Methods And Computer Design, IEEE Computer Society, Leuven, Belgium, Octobre 1996.
- Dunoyer J., Pétrot F., Jacomme L.**, Intrinsic Limitations of Logarithmic Encodings for Low Power Finite State Machines, Proceedings of Proceedings of the Mixed Design of VLSI Circuits Conference, Poznan, Poland, June 1997, pp. 613--618.
- Dunoyer J., Pétrot F., Jacomme L.**, Limitations of Logarithmic Encodings for Low Power Finite State Machines, Proceedings of the 4th IEEE International Conference on Electronics Circuits and Systems (ICECS'97), December 1997, Cairo, Egypt, pp. 522--528.
- Faudemay P.**, A Paginated Set-Associative Architecture for Databases, in Emerging Trends in Database and Knowledge-Base Machines : the Application of Parallel Architectures to Smart Information Systems, édité par M. Abdelguerfi et S. Lavington, IEEE, 1996.
- Faudemay P.**, Multidimensional navigation in collections of multimedia objects, ACM Conference on Computer Human Interfaces, (CHI'98), Los Angeles, April 1998.
- Faudemay P., Chen L., Montacié C., Caraty M.-J., Maloigne C., Tu X., Ardebilian M., Le Floch J.-L.**, Multi-channel video segmentation, Int'l Conf. on Multimedia Storage and Archiving Systems, SPIE Symp., Boston Mas, USA, November 1996.

- Faudemay P., Donsez D., Homond P.**, A cooperative database system based on workspace hierarchy, in *Industrial Information and Design Issues*, ed. J.E. Dubois et N. Gershon, Springer 1996.
- Faudemay P., Seyrat C.**, Intelligent delivery of personalised video programmes from a video database, *Proceedings of the 8th International Conference Database and Expert Systems Applications, (DEXA'97)*, Toulouse, France, September 1997.
- Greiner A., Pétrot F., Wajsbürt F.**, A Portable Layout Approach well Adapted to Education, *Proceedings of the 1st European Workshop Microelectronics Education*, Grenoble, France, February 1996, pp. 97-102.
- Guettaf A., Bazargan Sabet P.**, Efficient Partitioning Method for Distributed Logic Simulation of VLSI Circuits, *Proceedings of the 31st Annual Simulation Symposium*, Boston, Massachusetts, USA, April 1998, pp. 196-201.
- Lecler J.-J., Fenyo A., Greiner A., Potter F.**, SmartHSL : An Evaluation Board for the IEEE 1355 Technology., *European Multimedia, Microprocessor Systems and Electronic Commerce Conference and Exhibition (EMMSEC'97)*, Florence, Italy, November 1997.
- Maroufi W., Marzouki M.**, STA : A System Testability Assistant, *Proceedings of the 3rd IEEE European Test Workshop*, Sitges, Spain, May 1998.
- Maroufi W., Marzouki M.**, Specification and Early Evaluation of System Testability through Object Oriented modeling, *Proceedings of the 2nd IEEE European Test Workshop*, Cagliari, Italy, May 1997.
- Mehrez H., Aberbour M.**, Architecture and design Methodology of the RBF-DDA Neural Network, *Proceedings of the IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS'98)* Monterey, California, USA, May 1998.
- Oliaei O., Aboushady H., Loumeau P.**, A Switched-Current Class AB Sigma-Delta-Modulator, *Proceedings of the 30th IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS'97)*, Hong Kong, June 1997.
- Paget M.-M., Rosset-Louërat M.-M., Derieux A.**, Apprendre avec Alliance, *Cinquième Rencontre Francophone sur la Didactique de l'Informatique*, Monastir, Tunisie, Avril 1996, pp. 427-442.
- Pétrot F., Hommais D., Greiner Alain**, Cycle Precise Core Based Hardware/Software System Simulation with Predictable Event Propagation, *Proceedings of the 23rd Euromicro Conference*, Budapest, Hungary, Septembre 1997, pp.182-187, IEEE Computer Society Press.
- Pétrot F., Hommais D., Greiner A.**, A Simulation Environment for Core Based Embedded Systems, *Proceeding of the 30th Annual Simulation Symposium*, Atlanta, Georgia, April 1997, pp. 86-91.
- Quennesson C., Debaud P., Dupont-Nivet E., Mehrez H.**, A Heuristic Method for CMOS Circuits Self-Checking Efficiency Estimation, *IEEE European Test Workshop 1996*, Montpellier France, June 1996, pp 21-25.
- Rahim F., Bawa Rajesh K., Amara Amara**, VHDL based Verification of RISC pipelined Processor INFINITY : A Case Study , *Proceedings of IEEE/ACM International Workshop on Logic Synthesis (IWLS'98)*, Lake Tahoe, USA, June 1998.
- Rahim F., Encrenaz E., Minoux M., Bawa Rajesh K.**, Modular Model Checking of VLSI Designs described in VHDL , *Proceedings of IEEE International Conference on Computer and their Applications*, Honolulu, Hawaii, March 1998, pp. 365-368..
- Rejouan El H., Derieux A., Guettaf A., Florent O.**, A low-cost digital tester based on boundary-scan techniques , *Proceedings of the 1st European Workshop Microelectronics Education*, Grenoble, France, February 1996, pp. 213-216.
- Rejouan El H., Derieux A., Guettaf A., Florent O.**, Testing boundary-scan devices using PC printer parallel interface, In *proceedings of Mixed Design of VLSI circuits Advanced Training Course*, May 1996, pp. 611-615.

- Rejouan El H., Dictus N., Derieux A., Greiner A.**, How To Characterize a Cell Library Using Alliance CAD System Tools, Proceedings of Mixed Design of Integrated Circuits and Systems (MIXDES'96), Lodz, Poland, June 1996.
- Rejouan El H., Mehrez H.**, Automatic Generation Of Self Testing ROM, Proceedings of the 4th International Workshop, Mixed Design of Integrated Circuits and Systems, Education Of Computer Aided Design of Modern Devices and ICs, Poznan, Poland, June 1997.
- Remy P., Royannez P., Amara A.**, A GaAs electrical rule checker, X Simposio Brasileiro de Concepcao de Circuitos Integrados (SBCCI '97), Gramado, Brasil, August 1997, pp. 1-10.
- Royannez P. Amara A.**, A 1ns 64-bits Adder using quad tree algorithm, Sixth Great Lake Symposium on VLSI, Iowa State University, March 1996 .
- Royannez P., Amara A.**, DCFL circuit buffering, Proceedings of the 7th International Symposium on IC Technology, System & Applications (ISIC'97), Singapore, Singapore, September 1997.
- Royannez P., Amara A., Chaput J.-P., Beaurin O.**, A GaAs data-path compiler, Eurogas, Juin 1996.
- Tu X., Chen L., Ardebilian M., **Faudemay P.**, Video Segmentation Using 3-D hints contained in 2-D Images, Proceedings SPIE 1996, Int'l Conf. on Multimedia Storage and Archiving Systems, SPIE Symp., Boston Mas, USA, November 1996.
- Wajsbürt F., Desbarbieux J.-L., Spasevski C., Penain S., Greiner A.**, An Integrated PCI Component for IEEE 1355, European Multimedia, Microprocessor Systems and Electronic Commerce Conference and Exhibition (EMMSEC'97), Florence, Italy, November 1997.
- Wasjbürt F., Dioury K., Pétrot Frédéric**, Low Power, Process Independent, Full Transistor Controlled Slew Rate, PCI Compliant I/O pads, Proceeding of the 21st International Conference on Microelectronics, Nis, Yougosliavia, September 1997, pp 811-814.
- Winckel L., Faudemay P.**, An Abstract Model for a Low Cost SIMD Architecture, Int'l Conf. ASAP, Chicago, USA, August 1996.
- Zerrouk B., Bouaroua A.**, MILE : An Open Environment for Interconnection Networks Performance Evaluation, Proceedings of the ISCA Parallel and Distributed Computer Systems (PDCS'96), Dijon, France, September 1996.
- Zerrouk B., Bouaroua A., Iponse F.**, MILE : Experimental Study Of A Generic Router Under MILE, Proceedings of the IASTED Applied Informatic (IASTED AI'97), Innsbruck, Austria, February 1997.
- Zerrouk B., Reibaldi V., Potter F., Greiner A., Derieux A.**, RCube : A gigabit serial links low latency adaptive router, In the Records of the IEEE Hot Interconnects IV, Palo Alto CA, U.S.A, August 1996.
- Zerrouk B., Reibaldi V., Potter F., Greiner A., Derieux A., Marbot R., Nezammzadeh R.**, RCube : A Message Routing Device Using The OMI/HIC High Speed Link Technology, Proceedings of the Third IEEE International Conference on Electronics Circuits and Systems (ICECS'96), Rodos, Greece, October 1996.

Publications dans des actes de congrès ou des ouvrages de synthèse, notoriété courante (26)

- Abdallah N., Bazargan-Sabet P.**, Technique de Simulation Event-Driven en Vue d'une Simulation Mixte Efficace, Actes du 1er Colloque CAO de Circuits Intégrés et Systèmes, Grenoble France, Janvier 1997, pp. 22-25.
- Abdat L., Paget M.-M.**, Le système Hypertools, Actes des troisièmes Journées Scientifiques Hypermédiat et Apprentissages, Châtenay-Malabry, France, Mai 1996, pp. 131-138.

- Aberbour M., Derieux A., Vaucher N.**, Enseignement de la conception d'un circuit intégré à l'aide de CADENCE et utilisation de bibliothèques de cellules d'ALLIANCE, Actes des 4ème Journées du CNFM, Saint Malo, Décembre 1996.
- Archambaud D., Winckel L., Faudemay P., Greiner A., Dromard F.**, Une carte massivement parallèle SIMD programmable, Actes du Quatrième Symposium Architectures Nouvelles de Machines, Rennes, France, Février 1996, pp. 41-50.
- Bukovjan P., Marzouki M., Maroufi W.**, Allocation for Testability in High-Level Synthesis Process, Proceedings of the 5th Electronic Devices and Systems Conference, Brno, Czech Republic, June 1998.
- De Carvalho J.-M., Melsher E., **Houelle A., Mehrez H., Vaucher N.**, A Novel Gradient Operator Suited For VLSI Implementation Of 2D Shape Recognition, IX Simposio Brasileiro De Coneção De Cirtuitos Integratos, RECIFE, Mars 1996 pp. 321-332.
- Dessouky M., Porte J., Greiner A., Rosset-Louerat M.-M.**, Synthèse de Circuits Analogiques CMOS, 1ere Journée Nationale Réseau Doctoral Microélectronique, Toulouse, France, Avril 1998, pp.15.
- Dessouky M.A., Greiner A., Rosset-Louërat M.-M.**, CAIRO : Un Langage pour le Layout Analogique Symbolique, Actes du 1er Colloque CAO de Circuits Intégrés et Systèmes, Grenoble France, Janvier 1997, pp. 14-17.
- Dioury K., Greiner A., Rosset-Louërat M.-M.**, Analyse Temporelle des Circuits VLSI à Haute Densité d'Intégration Utilisant des Technologies Submicroniques, Actes du 1er Colloque CAO de Circuits Intégrés et Systèmes, Grenoble France, Janvier 1997, pp. 184-187.
- Dunoyer J., Abdallah N., Bazargan Sabet P.**, Méthodes Probabilistes et Problèmes de Corrélations pour l'Evaluation de la Consommation des Circuits VLSI, Journées Faible Tension, Faible Consommation, Novembre 1997, Paris, France, pp. 131-134.
- Dunoyer J., Pétrot F., Jacomme L.**, Stratégie de codage des automates pour les applications basse-consommation : expérimentations et interprétation, Journées Faible Tension, Faible Consommation, Novembre 1997, Paris, France.
- Dunoyer J., Vuillemin L., Bazargan-Sabet P.**, Méthodes Probabilistes pour l'Evaluation de la Consommation des Circuits Intégrés VLSI, Actes du 1er Colloque CAO de Circuits Intégrés et Systèmes, Grenoble France, Janvier 1997, pp. 116-119.
- Faudemay P., et al.**, Segmentation multi-canaux de vidéos en séquences, CORESA'97, CNET, Issy-Les-Moulineaux, Mars 1997.
- Fenyo A., David P., Greiner A.**, Noyau de communication sécurisé pour la machine parallèle MPC, Actes des 10èmes Rencontres sur le Parallélisme, (RENPAR'10), Strasbourg, France, juin 1998 .
- Florent O.**, Génération distribuée de vecteurs de test par découpage structurel, Actes du 1er Colloque CAO de Circuits Intégrés et Systèmes, Grenoble France, Janvier 1997, pp. 242-245.
- Hommais D.**, Un environnement de simulation pour systèmes embarqués, 1ere Journée Nationale Réseau Doctoral Microélectronique, Toulouse, France, Avril 1998, pp.21.
- Hommais D., Greiner A., Pétrot F.**, Un environnement de simulation pour les systèmes embarqués, Actes du 1er Colloque CAO de Circuits Intégrés et Systèmes, Grenoble France, Janvier 1997, pp. 66-69.
- Jacomme L., Pétrot F.**, Du codage des automates en vue de la synthèse sur silicium : comparaison systématique et critique des approches existantes, Actes de la IIème Conférence Nationale sur la Résolution Pratique des Problèmes NP-Complets (CNPC'96), Dijon, Mars 1996, pp. 293-302.

- Lester A., Greiner A., Bazargan-Sabet P.**, Un Outil d'Evaluation de la Consommation Basée sur l'Extraction d'un Réseau de Portes Caractérisées, Actes du 1er Colloque CAO de Circuits Intégrés et Systèmes, Grenoble France, Janvier 1997, pp. 128-131.
- Mohamed F., Khouas H., Derieux A.**, L'optimisation des vecteurs de test analogique à base d'une approche floue, Rencontre Francophone sur la Logique Floue et ses Applications (LFA'97), Lyon, France, Décembre 1997, pp. 107-112.
- Oliaei O., Aboushady H., Loumeau P.**, Simulation de Modulateurs Sigma-Delta à Courants Commutés, Actes du 1er Colloque CAO de Circuits Intégrés et Systèmes, Grenoble France, Janvier 1997, pp. 283-286.
- Ramos F., Chen L., Bui M., Donsez D., Faudemay P.**, Task allocation strategies: a study with a multi-agents system in fully distributed information systems, 10th Brazilian Symposium on Software Engineering, Sao Carlos, SP, Brazil, October, 1996.
- Royannez P., Amara A.**, A CMOS/GaAs DCFL comparative survey based upon custom designed multiplier generators, First Electronic Circuits and Systeme Conference (ECS'97), September 1997, Bratislava (Slovakia).
- Seyrat C., Durand G., Faudemay P.**, Méthode d'indexation multimédia fondée sur les Objets Visuels, Actes des 4èmes Journées d'Echanges Compression et Représentation des Signaux Audiovisuels, (CORESA'98), Lannion, juin 1998.
- Vuillemin L.**, Vérification logico-temporelle de circuit VLSI a l'aide d'un réseau de FPGA, 1ere Journée Nationale Réseau Doctoral Microélectronique, Toulouse, France, Avril 1998, pp.42.
- Zerrouk B., Reibaldi V., Potter F., Greiner A., Derieux A.**, Un routeur de message adaptatif, Actes du Quatrième Symposium Architectures Nouvelles de Machines, Rennes, France, Février 1996, pp. 21-30.

Brevets, logiciels distribués par ftp

- Desbarbieux J.L., Greiner A., Lecler J.J., Potter F., Spasevski C., Wajsburt F.**, Dessin des masques du circuit VLSI PCI-DDC Dépôt INPI 1997
- Greiner A., Potter F., Reibaldi V., Zerrouk B.** Dessin des masques du Circuit VLSI RCUBE dépôt INPI 1997
- Faudemay P., Durand G.**, Procédé de segmentation spatiale d'une image en Objets Visuels et applications, Brevet Français, 4 Février 1998.
- ALLIANCE est une chaine de CAO pour circuits intégrés VLSI distribuée depuis 1993 sur FTP. (<ftp://ftp.ibp.fr/pub/alliance>) Elle est aujourd'hui utilisée dans plus de 250 universités dans le monde. Elle se compose d'une trentaine d'outils logiciels qui peuvent être utilisés indépendamment les uns des autres.
- Royannez P.** AMG : Générateur de multiplieur paramétrable
- Bazargan P., Vuong H.N.** ASIMUT : Compilateur/Simulateur VHDL
- Petrot F.** BBR : Logiciel de routage canal
- Burgun L., Sirol O.** BOP : Logiciel d'optimisation de réseau booléen
- Winckel L.** BSG : Générateur de décaleur paramétrable
- Burgun L., Dictus N.** C4MAP : Logiciel de synthèse sur cellules complexes
- Benammar L., Chaput J.P.** DPR : Logiciel de routage des chemins de données
- Jacomme L.** DREAL : Logiciel de visualisation de circuits
- Descamps G.E.** DRUC : Logiciel de vérification des règles de dessin
- Chaput J.P.** FPGEN : Compilateur de chemins de données.
- Prado E. Caron A.** FPMAP : Logiciel de synthèse logique pour circuits FPGA
- Petrot F.** GENLIB : Langage de description de circuits
- Vuong H.N.** GENPAT : Langage de description de stimuli

Petrot F. GENVIEW : Environnement graphique procédural
Dictus N. GLOP : Logiciel d'optimisation de schéma logique
Jacomme L. GRAAL : Editeur graphique
Petrot F. GROG : Générateur de ROM paramétrable
Lucas L. LVX : Logiciel de comparaison de schemas
Jacomme L. LYNX : Logiciel d'extraction de schéma logique
Burgun L. PROOF : Logiciel de preuve formelle
Bouaraoua A. RAGE : Générateur de RAM paramétrable
Winckel L. RFG : Générateur de banc de registres paramétrable
Wajsburt F. RING : Logiciel de routage des plots
Lucas L. RSA : Générateur d'additionneur paramétrable
Wajsburt F., Jacomme L., Petrot F. S2R : Logiciel d'expansion du dessin symbolique
Rejouan H., Derieux A. SCLIB : Bibliothèque de cellules précaractérisées
Allegre P., Sirol O. SCMAP : Logiciel de synthèse sur bibliothèque de cellules
Rejouan H. SCR : Logiciel de placement/routage de cellules précaractérisées
Sarwary C. Jacomme L. SYF : Logiciel de synthèse d'automates
Dioury K., Greiner A., Hajjar A., Louerat M.M. TAS : Logiciel d'analyse temporelle
Bazargan P., Greiner A., Laurentin M., Lester A., Petrot F. YAGLE : Logiciel d'abstraction fonctionnelle

Divers et rapports de recherche (5)

- Archambaud D., Dromard F., Greiner A., Faudemay P., Saraiva Silva I., Winckel L.,** Une carte massivement parallèle SIMD programmable, IBP-MASI 96/16, 1996.
- Derieux A., Zerrouk Belkacem et Al.,** Projet ILIAD : Impact des liaisons séries haut débit sur l'architecture des machines parallèles, Rapport Final, Mars 1996, 37 p.
- Faudemay P.,** Chen L., Interoperability issues in the Transdoc project, Workshop on Interoperability for Video Indexation, ACM Multimedia 96, Boston Mas, USA, November 1996.
- Paget M.-M., Rosset-Louërat M.-M., Derieux A.,** Apprendre avec Alliance, IBP-MASI 96/07, 1996.
- Zerrouk B., Reibaldi V., Tranoudis D., Debarbieux J.-L.,** Compact High Speed CMOS Crossbar For Switching Fabrics, IBP-MASI 96/03, Mars 1996, 12 p.

Formation par la recherche

Habilitations et thèses (22)

- Abdallah N.,** Méthode de simulation logico-temporelle de circuits numériques complexes prenant en compte le front des signaux et les collisions dans le cadre de la simulation mixte analogique-numérique, Thèse de l'Université Pierre et Marie Curie, 26/02/1998, encadrée par Bazargan Sabet P.
- Bouaraoua A.,** Mise en Oeuvre, l'Evaluation des Performances et la Vérification de la Validité de Topologies et de Schémas de Routage pour l'Aide à la Conception de Réseaux d'Interconnexion pour Architectures Parallèles, Thèse de l'Université Pierre et Marie Curie, 13/05/1998, encadrée par Greiner A.

- Brunel J.-Y.**, Synthèse d'architecture de circuits intégrés : Etude de l'ordonnement au niveau transfert de registres pour prendre en compte les contraintes temporelles imposées par les bibliothèques d'opérateurs disponibles, Thèse de l'Université Pierre et Marie Curie, 6/12/1996, encadrée par Greiner A.
- Couteaux P.**, Etude d'un circuit de sérialisation à 3 Gbits/s en technologie BiCMOS, Thèse de l'Université Pierre et Marie Curie, 3/07/1997, encadrée par Greiner A.
- Cruanes T.**, Mécanismes de synchronisation dans un gérant d'objets distribué, Thèse de l'Université Pierre et Marie Curie, 11/1996, encadrée par Faudemay P.
- Descamps G.-E.**, Méthode de distribution hiérarchique d'outils de vérification de circuits intégrés VLSI sur un réseau de stations de travail, application à un vérificateur de règles de dessin, Thèse de l'Université Pierre et Marie Curie, 13/06/1996, encadrée par Greiner A.
- Dictus N.**, Synthèse logique des circuits VLSI : Utilisation d'un compilateur de cellules complexes et optimisation des performances temporelles, Thèse de l'Université Pierre et Marie Curie, 27/06/1996, encadrée par Greiner A.
- Faudemay P.**, Recherche par le contenu dans des bases de données structurées et multimédia : architectures logicielles et matérielles, Habilitation à diriger des Recherches, Université Pierre et Marie Curie, 09/03/1998.
- Guignet Jean B.**, Abstraction Fonctionnelle des Composants VLSI, Thèse de l'Université Pierre et Marie Curie, 31/03/1998, encadrée par Greiner A.
- Hervieu M.**, Etude architecturale d'un système de reconnaissance en ligne de caractères manuscrits, Thèse de l'Université Pierre et Marie Curie, 3/12/1996, encadrée par Greiner A.
- Houelle A.**, GenOptim : un environnement d'aide à la conception de générateurs de circuits portables optimisés en performance et en surface, Thèse de l'Université Pierre et Marie Curie, 20/06/1997, encadrée par Mehrez H.
- Majed H.**, ISL : Etude et réalisation d'un réseau de communication à hautes performances pour machines multiprocesseurs à mémoire distribuée, Thèse de l'Université Pierre et Marie Curie, 21/05/1996, encadrée par Greiner A.
- Pierre Duplessix A.**, Etude et réalisation d'une liaison série à 1 GBaud indépendante du codage des données, Thèse de l'Université Pierre et Marie Curie, 4/04/1997, encadrée par Greiner A.
- Potter F.**, Conception et réalisation d'un réseau d'interconnexion à faible latence et haut débit pour machines multiprocesseurs, Thèse de l'Université Pierre et Marie Curie, 11/04/1996, encadrée par Greiner A.
- Prado E.**, Algorithmes de synthèse de circuits programmables basés sur des graphes de décision binaire, Thèse de l'Université Pierre et Marie Curie, 5/07/1996, encadrée par Greiner A.
- Quennesson C.**, Evaluation de circuits VLSI autocontrôlés prenant en compte un modèle de fautes multiples, Thèse de l'Université Pierre et Marie Curie, 7/03/1997, encadrée par Mehrez H.
- Reibaldi V.**, Conception et réalisation d'un routeur paquets à hautes performances, Thèse de l'Université Pierre et Marie Curie, 3/07/1997, encadrée par Greiner A.
- Remy P.**, Outils de vérification pour circuits VLSI AsGa MESFET par des méthodes d'abstraction fonctionnelle, Thèse de l'Université Pierre et Marie Curie, 15/12/1997, encadrée par Greiner A.
- Royannez P.**, Réalisation de bibliothèques et d'outils logiciels pour la conception de circuits intégrés sur arséniure de gallium, Thèse de l'Université Pierre et Marie Curie, 13/06/1996, encadrée par Amara A.
- Vaucher N.**, Méthodologie de conception d'architectures VLSI génériques appliquée au traitement numérique, Thèse de l'Université Pierre et Marie Curie, 20/06/1997, encadrée par Mehrez H.

Vuong Huu N., Une nouvelle méthode de simulation par évaluation directe des expressions logiques représentées par des graphes : application à des circuits modélisés par un sous-ensemble du langage VHDL., Thèse de l'Université Pierre et Marie Curie, 9/12/1997, encadrée par Bazargan-Sabet P.

Winckel L., Environnement logiciel d'un coprocesseur SIMD associatif et systolique microprogrammable, Thèse de l'Université Pierre et Marie Curie, 28/11/1997, encadrée par Faudemay P.

Animation de la recherche

Organisation scientifique de congrès et colloques

Bazargan P.

- VHDL International Users Forum, VIUF FALL'96, 1996 Durham USA
co-président du comité de programme

- Mixed Design of Integrated Circuits and Systems, MIXDES, 1998, Pologne
membre du comité de programme

Greiner A.,

- The European Design and Test Conference, ED&TC, 1996, Paris.
Audio Visual Chair

- The European Design & Test Conference, ED&TC, 1997, Paris.
Awards Chair

- Mixed Design of Integrated Circuits and Systems, MIXDES, 1998, Pologne
membre du comité de programme

Louërat M.-M.,

- The European Design and Test Conference, ED&TC, 1996, Paris.
University Booth Chair

- The European Design & Test Conference, ED&TC, 1997, Paris.
University Booth Chair

- The Design Automation and Test in Europe , DATE, 1998, Paris.
University Booth Chair

- Mixed Design of Integrated Circuits and Systems, MIXDES, 1998, Pologne
membre du comité de programme

Projets et contrats

Participation aux grands programmes de recherche nationaux

- Arithmétique des ordinateurs PRC-GDR Architectures Nouvelles de Machines

Responsable scientifique : H.Mehrez, durée: 01/96 - 12/96

financement : 12 KF

- RAPID2 PRC-GDR Architectures Nouvelles de Machines
Responsable scientifique : P. Faudemay, durée : 7/ 95 - 7/ 96
financement : 20 KF

Contrats avec les établissements publics

Projet JESSI AE82 Composants avancés pour ordinateurs de hautes performances
Responsable scientifique : A. Greiner, durée: 04/95-12/1996,
financement : 1 570 KF
L'objectif du projet est la définition, en collaboration avec SGS-THOMSON d'une méthode de migration technologique qui s'appuie sur une technique d'abstraction fonctionnelle suivie de resynthèse.
Partenaires: SGS-THOMSON, BULL

Projet JESSI AE96 TWIN-ATM
Responsable scientifique : A. Greiner, durée: 01/95- 12/96,
financement : 1 140 KF
L'objectif du projet est la définition de l'architecture d'un réseau de communication haute vitesse pour systèmes multi-processeurs, utilisant la technologie HSL.
Partenaires : BULL, Compagnie des Signaux,

Projet MEDEA AT403 System-level Methods and Tools
Responsable scientifique : M.Marzouki, durée: 01/97-12/ 97 ,
financement : 1.720 KF,
L'objectif de ce projet est la définition de méthodes de conception de systèmes intégrés et le développement des outils logiciels correspondants.
Partenaires: ALCATEL, BULL, PHILIPS, SGS-THOMSON, COWARE, EONIC, EDC, IMEC, UJF/TIMA

Projet MEDEA AT406 Advance Deep Submicron Tools
Responsable scientifique : M-M. Lôuérat, durée: 07/97-12/97 ,
financement : 879 KF,
L'objectif de ce projet est la définition et l'évaluation de méthodes et d'outils de CAO pour la conception et la vérification des circuits intégrés pour des techniques submicroniques.
Partenaires : BULL, THOMSON CFS, MATRA/MHS, LIRMM, ANACAD, TEMENTO SYSTEM, ALCATEL MICROELECTRONIQUE

Projet TRANSDOC
Programme « Autoroutes de l'Information » , Ministère de l'Industrie
Responsable scientifique: P.Faudemay, durée : 1/10/96 - 1/ 10/ 98
financement : 1.015 kF
L'objectif de ce projet est la réalisation de serveurs d'indexation de Video.
Partenaires: Université Technologique de Compiègne

Projet CNET Basse Consommation
Responsable scientifique : P.Bazargan, durée : 12/95 - 11/98
financement: 630 KF
L'objectif est de définir une méthode de calcul de la consommation électrique des circuits intégrés et de développer un outil logiciel mettant en œuvre cette méthode.
Partenaire : ENST

Contrats industriels

Projet CONVOLUEUR : Processeur Parallèle de calcul de la convolution 2-D dédiée à la reconnaissance de formes.
Responsable scientifique : H. Mehrez, durée: 1/95 - 12/96
financement : 450 KF

L'objectif est d'évaluer l'adéquation algorithmes architectures d'une méthode de reconnaissance de formes. La première étape de ce projet est l'évaluation et le développement d'une architecture performante d'un convolveur 2-D et son implantation dans un système prototype.

Partenaire : CEA-DAM

Projet SALLIANCE : Processeur Parallèle d'extraction de signatures dédiée à la reconnaissance de formes.

Responsable scientifique : H. Mehrez, durée: 6/97 - 6/98

financement : 210 KF

Ce projet entre dans le cadre d'un projet global d'évaluation de l'adéquation algorithmes/architectures d'une méthode de reconnaissance de formes. L'étude consiste à la réalisation d'un processeur parallèle de compression des données et d'extraction de signatures pouvant être traitées par un classifieur neuronal.

Partenaire : CEA-DAM

Projet CIRCUIT BASSE CONSOMMATION :

Responsable scientifique: A.Amara, durée : 6/ 97 - 6/ 2000

financement: 100 KF

L'objectif est d'étudier différentes techniques de circuiterie permettant un fonctionnement à basse tension d'alimentation et à faible consommation pour des structures régulières du type ROM ou RAM.

Partenaire : ATMEL

Projet ANALYSE DE LA DIAPHONIE :

Responsable scientifique: P.Bazargan, durée : 11/ 97 - 10/ 2000

financement: 300 KF

L'objectif est le développement d'une méthode et d'un outil CAO permettant l'analyse des phénomènes de diaphonie dans les circuits intégrés CMOS submicroniques.

Partenaire : SGS-THOMSON

Contrats internationaux

Projet OMI-HIC [ESPRIT 7252] Heterogeneous Interprocessor Communication

Responsable scientifique : A.Greiner, durée : 4/94 - 3/96

financement : 2 328KF

L'objectif du projet est la définition et la réalisation d'un circuit de routage de messages utilisant des liaisons série à 1 Gigabit/s.

Partenaires : SGS-THOMSON, BULL, THOMSON, DOLPHIN, SINTEF

Projet OMI-MACRAME [ESPRIT 8603] Multiprocessor Architectures : Connectivity, Routers and Modelling Environment

Responsable scientifique : A. Greiner, durée : 01/95 - 12/96

financement : 2.043 KF

L'objectif du projet est l'évaluation de performances de réseaux d'interconnexion pour machines multiprocesseurs utilisant des techniques de routage adaptatif.

Partenaires : SGS-THOMSON, BULL, THOMSON, CERN, DOLPHIN, SINTEF

Projet HPCN-EUROPRO [ESPRIT 21040] European Processing Core Technology

Responsable scientifique : F.Wajsburdt, durée : 01/96- 06/98

financement : 3.050 KF

L'objectif du projet est la définition et la réalisation d'un composant VLSI d'interface entre le bus PCI et le routeur RCUBE, réalisant un protocole de communication à écriture directe en mémoire distante.

Partenaires : THOMSON, BULL, CETIA, DICESVA, FRAUNHOFER, GEC-MARCONI, INTECS SISTEMI, SIMULOG, SCHLUMBERGER

Projet OMI-ARCHES [ESPRIT 20693] Application, Refinement and Consolidation of HIC, Exploiting Standards

Responsable scientifique : A.Greiner, durée : 1/96- 12/98 ,
financement : 4.710 KF

L'objectif du projet est la définition et la réalisation d'un composant VLSI réalisant simultanément la fonction de routage et la fonction d'interface sur le bus PCI pour machines multi-processeurs, tout en supportant différents protocoles de communication.

Partenaires : PARSYTEC, SGS-THOMSON, DOLPHIN,BULL, CERN, SINTEF

Projet OMI-COSY [ESPRIT 25443] Codesign Simulation & sYnthesis

Responsable scientifique: F.Pétrot, durée 11/97-3/2000
financement : 5.750 KF

L'objectif du projet est de définir une méthodologie de conception pour la simulation, la synthèse et l'évaluation de performance des systèmes intégrés mixtes matériel/logiciel utilisant des processeurs RISC ou des processeurs de traitement du signal.

Partenaires: PHILIPS, SIEMENS, CADENCE EUROPEAN LABORATORY, POLITECNICO DE TORINO

Projet AVIR [ESPRIT 28798] Audio Visual Indexing and Retrieval for non-expert users.

Responsable scientifique: P.Faufemay, durée 7/98-6/2000
financement : 2.205 KF

L'objectif du projet est l'accès intelligent à la video pour l'utilisateur résidentiel, grâce à un système d'indexation chez le producteur et chez l'utilisateur final.

Partenaires: PHILIPS, RAI, TECMATH, TV SPIELFILM, BBC, UNIVERSITY of BRESCIA

Projet TEMPUS [S_JEP-09151-95] Development of the Education in the Area of Modern Electronic Design Methodologies at University of Gliwice

Responsable scientifique : M.-M. Louërat, durée : 9/95-8/98
financement : 70 KF

L'objectif du projet est d'aider l'Université de Gliwice à créer un enseignement et un laboratoire en micro-électronique, basé sur la chaîne de CAO Alliance.

Partenaires : Université de Gliwice (Pologne) et Université de Tübingen (Allemagne).

Projet TEMPUS [CME-01059-95]

Responsable scientifique : M.-M. Louërat, durée : 10/95-9/96,
financement : 20 KF

L'objectif du projet est l'organisation de la conférence MIXDES à Lodz ainsi que la publication des actes, pour faire connaître les résultats du programme Tempus dans le domaine de la micro-électronique.

Partenaires : Université de Lodz, Pologne, Université de Warsovie, Pologne, INSA Toulouse, Université de Gent, Belgique, Université d'York, Royaume Uni, Université de Pavie, Italie, Université de Barcelone, Espagne.

Projet CAPES-COFECUB : Conception de circuits VLSI

Responsable scientifique: Habib Mehrez, durée: 94-96
financement : aucun

Il s'agit ici d'étudier des architectures de circuits spécifiques pour la reconnaissance de forme, et de promouvoir une méthode de conception VLSI utilisant les outils de la chaîne de CAO Alliance pour la conception de circuits spécifiques.

Partenaires : UFPB [Brésil], UFRJ [Brésil]

Visiteurs étrangers

- Scherson Isaac , Université de Irvine (USA) (janvier 97 à juin 97)
- Aude Salek Julio, Université Fédérale de Rio de Janeiro (BRESIL) (sept. 96)
- Hamacher Carl , Université de Queens (CANADA) (juin 98)
- Scherson Isaac, Université de Irvine (USA) (avril 98 à juin 98)

Valorisation

- BULL

Le logiciel YAGLE fait l'objet d'un contrat de cession de licence entre l'Université Pierre et Marie Curie et la société BULL, afin de permettre à BULL d'intégrer la technologie YAGLE dans l'outil d'abstraction fonctionnel GROG commercialisé par BULL.

- TACHYS

Les composants VLSI RCUBE et PCI-DDC font l'objet d'un contrat de cession de licence entre l'Université Pierre et Marie Curie et la société TACHYS TECHNOLOGIE. Cette entreprise a été créée en septembre 1996 par 7 chercheurs du département ASIM du LIP6.

- AED

Le logiciel GENOPTIM a fait l'objet d'un contrat de cession de licence entre l'Université Pierre et Marie Curie et la société AED. Cette société a été créée en octobre 1997 par 3 chercheurs du département ASIM du LIP6.

- AVERTEC

Le logiciel TAS a fait l'objet d'un contrat de cession de licence entre l'Université Pierre et Marie Curie et la société AVERTEC. Cette société a été créée en janvier 1998 par 5 chercheurs du département ASIM du LIP6.

Réseaux et Performances

Fdida Serge

Anelli Pascal
Baynat Bruno
Dallery Yves
Dutheillet Claude
Horlait Eric
Roca Vincent
Soto Michel
Thai Kim Loan

Professeur, UPMC
Maître de Conférences, UPMC
Maître de Conférences, UPMC
Directeur de Recherche, CNRS
Maître de Conférences, UPMC
Professeur, UPMC
Maître de Conférences, UPMC
Maître de Conférences, Université Paris 5
Maître de Conférences, UPMC

ITA-IATOS

Picard Françoise
Saïd Clémentine

Ingénieur de recherche, CNRS
Secrétaire, UPMC

Personnel temporaire

Bourgin Pierre
Karaesmen Fikri
Moret Yan

Ingénieur, Alcatel
Post-doc, CEE
ATER, UPMC

Doctorants présents 80% du temps au LIP6

Allongue Sébastien (Soto/Horlait, 95)
Bouyer Manuel (Horlait, 96)
Deleuze Christophe (Fdida, 96)
Dracinschi Anca (Fdida, 97)
Fourmaux Olivier (Fdida, 95)

Le Bihan Hervé (Dallery, 95)
Zouaoui Mohsen (Dutheillet/Haddad, 93)
Urvoy Guillaume (Dallery/Hébuterne, 96)
de Véricourt Francis (Dallery, 97)

Doctorants présents moins de 80% du temps au LIP6

Aidan Bruno (Horlait, 94)
Begdouri Ahlame (Horlait, 96)
Benabbou Faouzia (Horlait, 95)

Bouchaib Nassereddine (Horlait, 96)
Ssglauser Matthias (Bolat/Fdida, 94)
Hamchaoui Isabelle (Guillemin/Fdida, 95)

Associées au LIP6

Becker Monique
Atmaca Tulin
Gay Valérie
Logé Christophe
Kervella Brigitte

Professeur, INT
Maître de conférences, INT
Maître de conférences, Univ. d'Amiens
Maître de conférences, Univ. d'Amiens
Maître de conférences, Univ. d'Amiens

Le thème Réseaux et Performances s'intéresse depuis plusieurs années à la conception et l'analyse des réseaux de communication, ainsi qu'aux techniques de modélisation des systèmes informatiques et des systèmes de production. Les activités dans ce thème s'organisent autour de deux axes : Réseaux et Performances. Ces activités comprennent des études à caractère théorique et appliqué, permettant d'aborder des problèmes de différentes natures en associant les compétences et la sensibilité de chaque approche. L'interaction entre l'axe Réseaux et l'axe Performances est forte puisque plusieurs problématiques de recherche donnent lieu à des travaux complémentaires dans ces deux axes. Cette interaction est renforcée par le fait que plusieurs chercheurs du thème ont des activités dans ces deux axes.

Il est aujourd'hui largement reconnu que les réseaux de communication représentent une composante majeure de notre société qui va se renforcer et se diversifier à la fois, aussi bien dans le domaine des architectures de communication que dans celui des applications supportées. L'utilisation intensive du Web, l'explosion de l'Internet et des réseaux mobiles, l'apparition progressive de la vidéo, d'applications de travail coopératif et d'environnements de réalité virtuelle sont autant d'éléments qui nécessitent la construction de solutions pour permettre le bon fonctionnement du réseaux et des applications. Ce thème constitue un enjeu majeur pour les industriels et les utilisateurs.

Parmi ces problèmes, notre action à venir portera essentiellement sur deux axes. Le premier, initialisé depuis plusieurs années, vise à concevoir et expérimenter des protocoles et mécanismes de communications capables de garantir la qualité de service demandée par la variété des applications. Cette action, démarrée en 1992 dans le cadre du projet CESAME (CNET-CNRS) en collaboration avec des laboratoires publics et industriels, a permis d'amorcer des travaux sur la qualité de service, le contrôle des ressources du réseau et les communications multipoint. Elle s'est poursuivie ensuite dans le cadre du GDR-PRS et de projets d'expérimentation comme MIRIHADÉ (CNRS-INRIA) ou en association avec des partenaires industriels. En particulier, un support industriel lourd d'Alcatel et institutionnel du CNRS-NRC (Canada) se proposent d'étudier des aspects variés des architectures de communication adaptées au multimédia. Ce type d'activité se développera à l'avenir dans le but de concevoir et démontrer les solutions proposées sur une plate-forme nationale à haute vitesse. Nous avons joué un rôle moteur dans la mise en œuvre des différents projets nationaux sur les architectures de communication multi-média et les plates-formes d'expérimentation. Le deuxième axe concerne les environnements de réalité virtuelle. Ils sont amenés à jouer un rôle de plus en plus important dans notre société car leurs domaines d'application recouvrent la plupart des activités humaines. Les environnements de réalité virtuelle possèdent deux propriétés qui leur permettent d'occuper un place stratégique parmi les hautes technologies. La première est qu'ils constituent une interface de choix avec les utilisateurs pour leur faciliter l'accès à cette haute technologie. La seconde est qu'ils représentent un carrefour sans précédent pour de nombreux domaines de pointe tels que les réseaux de communication, le multi-média, l'image de synthèse, l'IAD, les systèmes répartis, sans parler des sciences humaines comme la psychologie, la sociologie, la philosophie pour lesquelles ils constituent de nouveaux terrains d'étude, d'expériences et de réflexion. Cette dernière propriété dote ces environnements d'une caractéristique intégratrice et fédératrice très intéressante. Notre action dans ce domaine a débuté en 1993 et s'est renforcée en 1994. Nous avons défini un cadre cohérent de concepts pour la conception et la réalisation des environnements de réalité virtuelle dotés de capacité d'interopérabilité. Ceci afin de permettre à des utilisateurs, travaillant sur des environnements différents, de coopérer ou

d'échanger des objets virtuels. Ces concepts sont en cours de validation par la réalisation du prototype NOVÆ (Networked Open VirtuAl Environments). Nous sommes également engagés dans un cadre industriel avec Alcatel Alsthom Recherche pour l'application de la réalité virtuelle à la visualisation et la gestion de systèmes complexes. Au plan international, l'axe réalité virtuelle participe à un projet franco-canadien commun au CNRS et au NRC (National Research Council) d'une durée de 3 ans. Ce projet est une investigation de la gestion d'agents mobiles pour les applications multimédia et réalité virtuelle en réseaux hétérogènes. Dans ce projet, l'axe réalité apporte son expérience en matière d'interopérabilité et participe à la réalisation d'un prototype.

Les projets en performances visent d'une part à développer des techniques pour l'analyse de systèmes à événements discrets (SED), et d'autre part à répondre à des problèmes d'évaluation de performances et d'optimisation pour des applications particulières, principalement les réseaux de communication et les systèmes de production. Ces études font appel aux outils complémentaires que sont, d'une part la simulation et d'autre part les méthodes analytiques. Les réseaux de communication comme les systèmes de production sont des systèmes à événements discrets complexes. Il est donc indispensable de disposer d'outils permettant d'analyser et d'optimiser le comportement de ces systèmes, que ce soit lors de leur conception ou lors de leur exploitation. Les études appliquées aux réseaux concernent les problèmes de contrôle de congestion et de modèles d'architecture. Celles appliquées aux systèmes de production portent sur le dimensionnement de lignes de production et de lignes d'assemblage, ainsi que sur l'optimisation de systèmes de gestion de type kanban. Ces études sont supportées par des projets concernant le développement de techniques d'analyse qualitative et quantitative de classes particulières de systèmes à événements discrets.

L'objectif pour les années à venir est de maintenir un axe de recherche important sur les travaux théoriques concernant l'analyse qualitative et quantitative des systèmes à événements discrets. Cependant nous souhaitons développer encore plus les études à caractère appliqué. Celles concernant les réseaux à haut débit pour lesquelles l'interaction avec les projets en réseaux de notre thème est bien sûr un atout essentiel, mais aussi celles portant sur les systèmes de production. Sur ce dernier thème, nous avons acquis une reconnaissance nationale et internationale à travers le développement de modèles mathématiques d'aide à la décision. Un effort particulier portera maintenant sur la valorisation de nos travaux auprès de partenaires industriels. Une première illustration de ces efforts se traduit déjà par notre participation à un projet européen BRITE-EURAM dans lequel plusieurs industriels sont impliqués.

Bilan synthétique des recherches

Recherche en Réseaux

Les projets en Réseaux développés dans notre thème traitent, d'une part, des techniques de communication haute vitesse et d'autre part, des applications multi-média et de réalité virtuelle qu'elles permettent d'envisager. L'évolution des services réseau liée aux capacités des nouvelles technologies crée un nouveau paradigme pour le support d'applications associant des trafics de nature différente, et de multiples interlocuteurs. Ainsi, une révision importante à la fois des mécanismes, services et protocoles de communication utilisés aujourd'hui s'avère nécessaire pour assurer le bon fonctionnement des infrastructures haute vitesse et le support de ces nouveaux applicatifs. Des techniques telles que l'ATM ou l'Internet large bande, apparaissent comme les solutions dominantes des prochaines années. Elles devront fournir un moyen de transfert unique pour des informations de types variés (données, images, voix, etc.), mais nécessitent une maîtrise importante des ressources mises

en œuvre afin d'assurer à la fois une utilisation efficace des moyens de communication (bande passante) et une garantie des services demandés par les utilisateurs (délais, gigue, débit, pertes, etc.).

Il convient alors de préparer ces architectures distribuées, associant réseaux, systèmes et applications, en développant des travaux de recherche fondamentaux et des expérimentations. Les premières études se sont efforcées d'imaginer comment amener les protocoles actuels à travailler à des vitesses compatibles avec celles réclamées par les applications, et aussi d'exploiter efficacement la bande passante maintenant accessible. Depuis, les réseaux à haut débit traduisent bien d'autres concepts et fonctionnalités indispensables pour le support des applications, et peu abordés jusqu'à récemment. Les applications constituent le moteur de la conception d'une architecture de réseau numérique à intégration de services. En conséquence, il faut que ce dernier soit doté, dès sa conception, des fonctions requises par les applications. Nous pouvons dès maintenant affirmer qu'une part importante d'entre elles seront coopératives et multi-média. L'objectif principal de nos travaux est d'explorer, concevoir et analyser les futures générations de protocoles qui permettront le support d'applications multi-média coopératives à qualité de service garantie.

Le caractère à la fois multidisciplinaire et hétérogène de la réalité virtuelle constitue un sérieux défi au regard du concept d'interopérabilité admis par tous mais rarement défini. Notre travail de recherche a été d'apporter de nouveaux paradigmes. Ces derniers se doivent d'être unificateurs au niveau de l'application mais aussi utilisables au niveau des ressources informatiques supportant l'application, en particulier la bande passante du réseau et la CPU. Notre démarche repose sur la sémantique des mondes virtuels et des objets qui les composent avec pour point de les actions des objets et les réactions du monde virtuel. Action et réaction sont décrites dans un formalisme unique qui nous permet de prévoir et de calculer le comportement des objets virtuels lorsqu'ils sont amenés à fonctionner hors de leur monde natif. L'interopérabilité est conçue comme un service dont la qualité est calculable de façon naturelle avec notre formalisme, et exprimée en taux de compatibilité sémantique entre mondes virtuels. Lorsque le taux de compatibilité sémantique est insuffisant des techniques d'apprentissage sont mises en œuvre pour élever ce taux. Par ailleurs, nous pouvons extraire automatiquement des critères sémantiques d'équilibrage de charge pour le placement des objets virtuels et pour l'optimisation de l'utilisation de la bande passante du réseau.

Recherche en Performances

Nous nous intéressons aux problèmes de modélisation, évaluation de performances, commande et optimisation de systèmes à événements discrets (SED). Notre activité comprend à la fois des études à caractère théorique sur les systèmes à événements discrets, et des études à caractère appliqué sur les systèmes de production et les réseaux de communication. Ces systèmes ont un comportement complexe qui entraîne un besoin croissant de méthodes d'analyse et d'optimisation, tant au niveau de la conception qu'au niveau de l'exploitation.

Nos travaux de recherche s'organisent autour de trois axes principaux :

- analyse qualitative et quantitative de systèmes à événements discrets ;
- modélisation, évaluation de performances, gestion et optimisation de systèmes de production ;
- modélisation, évaluation de performances et contrôle de réseaux de communication.

Les recherches sur l'analyse quantitative de systèmes à événements discrets portent principalement sur le développement de méthodes analytiques. Nous nous intéressons à des systèmes à événements complexes comportant des mécanismes tels que buffers à capacité finie, synchronisation, contrainte de population, etc. Pour de tels systèmes, il n'est en général pas possible d'obtenir une solution analytique exacte. La seule approche possible est alors de développer des méthodes approchées. Les travaux que nous menons concernent le développement d'une méthode générale d'approximation permettant d'analyser une large classe de systèmes à événements discrets. Notre approche repose sur l'utilisation d'une technique de solution à forme produit approchée. Pour ce qui est de l'analyse qualitative, nous nous intéressons d'une part à l'analyse de la vivacité dans les réseaux de Petri colorés et d'autre part nous travaillons sur la définition d'un langage permettant d'exprimer des propriétés de performances très générales sur un système, ainsi que sur les méthodes d'évaluation de ces propriétés.

Un axe de recherche important concerne le développement de méthodes analytiques d'évaluation de performances de systèmes de production dans lesquels les machines sont sujettes à des pannes et dont les buffers sont à capacité finie. Ces méthodes sont utiles dans des problèmes de dimensionnement de systèmes de production (lignes de production, lignes d'assemblage, etc.). Nous avons développé une méthode relativement simple et assez générale qui donne des résultats dont la précision est suffisante pour résoudre des problèmes de conception. Cette méthode repose sur la décomposition du système de production en un ensemble de sous-systèmes comportant deux machines séparées par un stock intermédiaire. Cette méthode a été testée sur de nombreux exemples et mise en œuvre dans le cas d'une application industrielle avec la société Péchiney. Les travaux récents ont porté sur l'extension de l'applicabilité de cette méthode afin de disposer d'une approche permettant de prendre en compte les principaux mécanismes rencontrés dans les systèmes de production industriels.

Dans une autre étude, nous nous intéressons à la méthode "Kanban" qui est une méthode relativement simple conceptuellement, mais néanmoins assez efficace, de gestion de systèmes de production à flux tiré. Dans le cas général, le système de production est décomposé en un ensemble de K mailles. A chaque maille est associé un nombre de kanbans fixé qui limite le nombre total de pièces en cours de production ou terminées dans la maille. L'un des objectifs de cette étude est de développer des méthodes analytiques permettant de mieux comprendre le fonctionnement de systèmes Kanban et d'en évaluer les performances. Nous avons développé une méthode approximative d'évaluation de performances de systèmes Kanban modélisés par un réseau de files d'attente. Les études sur les systèmes Kanban nous ont amenés à nous intéresser au problème de la définition et de l'étude de politiques de conduite de systèmes de production à flux tiré. Nos réflexions nous ont conduits à proposer une nouvelle méthode de gestion de systèmes de production à flux tiré que nous appelons "Kanban étendu". Cette méthode combine la méthode Kanban et la méthode "Base-Stock" proposée dans le contexte de gestion de stocks.

Dans le contexte de réseaux de communication, nous nous intéressons à développer des méthodes permettant d'évaluer les performances de réseaux à haut débit, en particulier les réseaux ATM. Dans ces réseaux, il faut assurer une qualité de service dont un des aspects est de garantir un taux de perte de cellules inférieur à une valeur donnée (par exemple 10^{-8}). Dans un réseau ATM, il n'y a pas de contrôle d'erreur entre les différents noeuds de commutation et donc des pertes de cellules peuvent se produire du fait de la capacité finie des buffers. Un paramètre de performance essentiel est donc le taux de perte de cellules de bout en bout. Le système est modélisé par un réseau de files d'attente en tandem avec files à capacité finie. Quand un client (une cellule) arrive à une file pleine, ce client est perdu. Nos travaux portent sur le développement de méthodes de bornes, c'est-à-dire des méthodes permettant de calculer des bornes inférieures et supérieures sur le taux de perte.

Une autre étude sur les réseaux de communication porte sur les procédures de contrôle de trafics VBR dans un réseau ATM. Nous nous sommes intéressés à la garantie de contraintes de services durs (taux de perte nul et délai maximum garanti pour toutes les cellules de la connexion). Les paramètres des contrats VBR n'étant pas renégociables, notre étude s'attache donc au problème de l'admission d'appel. Nous avons étudié, dans ce cadre déterministe, plusieurs disciplines de service : CS (Complete Sharing), CP (Complete Partitioning) et GPS (Generalized Processor Sharing). Nous avons obtenu des résultats en terme de borne sur les délais de bout en bout pour le cas de serveurs FIFO, ce qui nous a permis de déduire des bornes pour des serveurs implémentant GPS.

Bilan détaillé des recherches

Protocoles à qualité de service garantie pour réseaux IP/ATM

C. DELEUZE, S. FDIDA, O. FOURMAUX, J.-F. DE REZENDE, V. ROCA

Les premiers travaux sur ce thème, fédérés au sein du projet CESAME (CNET-CNRS) ont permis de mettre en évidence les faiblesses des modèles, services et protocoles actuels, de la définition de la qualité de service ainsi que de sa gestion, d'où la nécessité de proposer de nouveaux mécanismes nécessaires pour le support d'applications large bande. Nous allons poursuivre cette action fédératrice en associant des travaux de recherche fondamentaux et des expérimentations, aujourd'hui indispensables dans ce domaine. Ces contributions seront partiellement réalisées dans le cadre du projet DIS IP/ATM et s'appuient sur les infrastructures MIRIHADÉ (CNRS-INRIA) puis SAFIR (Renater).

D'un point de vue technologique, deux solutions émergent et seront amenées à coopérer à l'avenir, à savoir l'ATM et IP. L'association et l'interfonctionnement de ces deux environnements constitue un problème industriel majeur largement discuté aujourd'hui. Plusieurs solutions sont explorées pour apporter une réponse efficace à la fois en terme de débit écoulé, de support du multipoint et de la qualité de service. Dans ce contexte, nous étudions une solution exploitant les possibilités de commutation et de routage à la fois. Nous évaluons les différentes approches possibles pour organiser des flots IP soit en les commutant, soit en les routant. Les critères de décision sont basés sur des considérations de vitesse et de qualité de service. Par ailleurs, le support du mode multicast d'IP et la possibilité de gérer des modèles de qualité de service fort variés posent des problèmes à la signalisation mise en œuvre par l'ATM. Nous avons proposé une solution qui exploite un codage hiérarchique pour la transmission de flux vidéo organisés en groupes multicast ATM (Fourmaux et al. 1997). Une telle solution n'est réaliste que dans un contexte où les différents éléments nécessaires à son évaluation sont disponibles. Ainsi, ces travaux sont menés dans le cadre du projet DIS sur réseau IP/ATM (DRET/MENESR). L'application d'expérimentation est constituée d'une application de DIS (Simulation Distribuée Interactive) développée par Dassault électronique. Elle présente de nombreuses fonctionnalités impossibles à traiter sur un réseau réel aujourd'hui (vision 2D/3D, temps réel, multipoint, nombre important d'objets simulés et de participants, etc.). Sa mise en œuvre sur une plate-forme IP/ATM est menée en collaboration avec l'INRIA Sophia-Antipolis et le LAAS, chacun apportant une partie des solutions nécessaires à l'exécution de l'application. Ces travaux sont également suivis par des partenaires industriels (EDF-DER, CEGEDEL, PHILIPS Communications d'Entreprise).

Un second projet, EDISON, est développé dans le cadre des programmes ESPRIT HPCN. Le cœur du projet est la conception d'une architecture générique et intégrée pour la distribution d'applications de simulation interactive. Les domaines d'application sont le

spatial et l'automobile. Notre rôle consiste à proposer et développer des solutions (protocoles et services de communication) aptes à supporter les contraintes très fortes des applications de contrôle-commandes qui seront expérimentées sur une plate-forme européenne. L'environnement réseau est de type IP et ATM.

Ces deux projets, DIS/ATM et EDISON doivent permettre d'une part de finaliser une expérience accumulée sur le sujet de la qualité de service et du multicast et d'autre part, de valoriser ces travaux par un transfert de technologies.

Le contrôle de la qualité de service (QoS).

P. ANELLI, M. BOUYER, A. FLADENMULLER, E. HORLAIT

Un aspect essentiel des réseaux haute vitesse est de pouvoir garantir des niveaux de QoS en fonction des besoins des utilisateurs. Il est donc nécessaire de contrôler et de pouvoir renégocier la QoS, de définir les moyens de coopération entre l'application et le réseau, et de proposer des algorithmes de gestion des ressources aussi bien au niveau du réseau que du système. En effet, les applications à venir feront appel à des services réseau permettant la garantie d'un niveau de QoS exprimé en termes de taux de perte, délai, débit, etc. Plusieurs approches complémentaires sont explorées. D'une part, il s'agit de l'adaptation de l'application aux variations de QoS réseau. Cette première solution, très utilisée dans le monde Internet, a été expérimentée dans le cadre de la maîtrise des ressources système (CPU), afin d'ordonnancer l'exécution des applications en fonction de la disponibilité des ressources mesurée sur le système (thèse de A. Fladenmuller). Une seconde approche consiste à développer une interface de transport permettant la renégociation dynamique de la QoS en fonction des évolutions de service constatées sur le réseau. Une dernière possibilité consiste en la mise en place de mécanismes de réservation de ressources dans les éléments actifs du réseau (routeurs par exemple). La première approche a donné naissance à la spécification et l'expérimentation de techniques de développement d'applications adaptatives au réseau et au système, en utilisant un contrôle d'admission de processus dans le système d'exploitation et une modification des comportements applicatifs pour répondre aux modifications du réseau. La seconde approche s'appuie principalement sur la connaissance a priori de besoins applicatifs qui doivent être traduits en paramètres de qualité de service. Après avoir envisagé des outils de négociation au niveau transport, nous nous intéressons à la transposition de ces paramètres en éléments de réservation de ressources dans les nœuds du réseau. En particulier, nous avons développé une technique originale de contrôle du débit dans les réseaux à partage de ressource. Cette technique fait l'objet d'un dépôt de brevet. Pour expérimenter ces différents aspects, nous avons développé une souche IPv6 qui permet d'expérimenter la cohabitation de protocoles de signalisation (type RSVP) dans le monde Internet avec des réseaux à garantie de service (réseau ATM dans notre cas). Nous disposerons ainsi d'une plate-forme complète d'expérimentation pour des applications multi-média dans un environnement de réseaux hétérogènes. Ces travaux sont menés en Collaboration avec l'University of Technology, Sydney (A. Seneviratne), et l'INRIA Sophia-Antipolis (C. Diot). Ils sont menés de manière complémentaire à l'action précédente (Protocoles à qualité de service garantie pour réseaux IP/ATM) et seront globalement intégrés sur la plate-forme.

La communication de groupe (multicast).

E. ANIQUE, A. DRACINSHI, S. FDIDA, J. REZENDE, K. THAI

La communication de groupe est aujourd'hui essentielle car elle permettra de rendre le service nécessaire aux applications coopératives (vidéoconférence, DIS, jeux répartis, télé-enseignement, etc.). Peu étudié jusqu'à récemment, les protocoles point-à-multipoint ou multipoint-à-multipoint posent de nombreux problèmes en particulier en raison de la

dimension du nombre d'utilisateurs impliqués et de la charge imposée sur le réseau. Il s'agit de fournir différents modèles de coopération de groupe, relayés par des services et protocoles adaptés à leurs besoins. En particulier, la capacité à supporter de grands groupes dynamiques, du filtrage de qualité de service et différents niveaux de fiabilité sont abordés. Nous avons développé des protocoles à fiabilité totale (de Rezende et al. 1996, a), fiabilité intègre (Anique et al. 1996) et fiabilité statistique (Rezende et al. 1996, b). Le premier garantit la correction de toute erreur, le second favorise le partitionnement en groupes de contraintes d'intégrité différentes. Enfin, le dernier permet de traiter des groupes dynamiques de grande dimension tout en évitant un effondrement des performances. Ces algorithmes ont fait l'objet d'études analytiques et de simulation réalisées en coopération avec A. Brandwajn de l'Université de Californie à Santa Cruz (Brandwajn et al. 1996), pour en vérifier le comportement et pour en optimiser le fonctionnement. Ils sont implémentés dans le cadre de notre plate-forme sur une base UDP/IP multicast d'une part et une base ATM d'autre part, sous Solaris, NetBSD et Linux. Ils serviront de support à la communication de groupe dans l'architecture protocolaire que nous développons. Ces travaux sont aujourd'hui complétés par la volonté de faire coopérer les réseaux Internet et ATM. RSVP, protocole de signalisation développé pour l'Internet, fournit le support à la réservation de ressources. Associé aux nouvelles classes de service IP, il permettra la garantie de qualité de service sur des Internet privés (Intra ou extra-net). En ce qui concerne le multicast, l'approche choisie est fort différente de celle suivie par l'ATM. Notre objectif est de concevoir la signalisation et les mécanismes qui permettront de supporter des communications de groupes dynamiques à qualité de service variable dans des réseaux associant ATM et IP (Fourmaux et al. 1997). Nos derniers travaux se tournent vers les problèmes de contrôle de flux et de congestion dans les environnements mixtes unicast et multicast. Une partie des contributions sur le multicast ont alimenté le projet européen COST237 (Multimedia Transport and Teleservices) et ont fait l'objet d'échanges de chercheurs avec l'université de Lancaster (UK).

Le développement d'applications multimédia

B. AIDAN, E. HORLAIT

L'expérience acquise par le groupe dans le domaine de la définition d'objets multi-média à travers la normalisation MHEG, a permis la mise en place d'une coopération active avec un centre de recherche industriel. L'objet est le développement d'applications utilisant, dans un environnement de type Internet, des communications à qualité de service prédictible pour transférer des informations multi-média. La maquette actuellement développée et opérationnelle permet de visualiser des objets MHEG (objets multi-média distribués) à travers un outil d'accès à l'information de type Netscape. La contribution technique est ici la définition d'une interface applicative dans le langage JAVA (définition d'une classe de communication) offrant un accès à la signalisation RSVP sur IPv6 et donc aux outils de garantie de service évoqués dans le point précédent. Ce travail se poursuit maintenant par l'exploration de techniques de contrôle de délai d'acheminement afin de permettre de garantir une synchronisation des échanges applicatifs entre canaux multi-média. Ce travail est développé en étroite collaboration avec Alcatel Alsthom Recherche (P. Richard).

Interopérabilité des environnements de réalité virtuelle

S. ALLONGUE, M. SOTO

Nous nous intéressons à des modèles formels permettant de décrire les contraintes des environnements de réalité virtuelle, en particulier pour en assurer l'interopérabilité. L'importance de l'interopérabilité pour l'avenir des environnements de réalité virtuelle est du même ordre que ce que fut l'interconnexion pour l'avenir des réseaux de

communication il y a quelques années. Les techniques de la réalité virtuelle sont aujourd'hui utilisées dans de nombreux domaines pour reconstituer un environnement réaliste ou inexistant à partir de la perception qu'en ont les utilisateurs. Ces moyens impliquent l'utilisation de matériels spécifiques et de puissance de calcul importante. Dans un environnement distribué, des applications utilisant ce type d'interfaces doivent utiliser des réseaux de communication dont les propriétés sont garanties en termes de débits bien sûr, mais également vis à vis des délais d'acheminement. Nous travaillons à une définition d'un modèle générique de telles applications pour mettre en lumière les outils de communications spécifiques ainsi que le contrôle de leur gestion. Ces modèles reposent sur une approche sémantique des mondes virtuels. Le formalisme que nous utilisons possède la propriété intéressante de pouvoir être utilisé à la fois au niveau application et au niveau de la gestion des ressources que sont le processeur et le réseau. Ce formalisme possède néanmoins une limite due à l'hypothèse d'équivalence symbolique entre les mondes virtuels. Cette limitation est inacceptable au regard de l'interopérabilité. Afin de relâcher cette hypothèse nous complétons notre approche sémantique avec des techniques d'apprentissage dans le cadre de l'action "Réalité Virtuelle et Apprentissage" menée au LIP6.

Plates-formes réparties multi-média à objets.

V. GAY, B. KERVELLA, C. LOGE.

Notre objectif est de définir des services en adoptant une approche par objet ce qui permet, en particulier, de faire abstraction des détails de la répartition. Ces services sont ensuite mis en œuvre sur des plates-formes réparties elles-mêmes à objets qui supportent les aspects répartis. Dans ce contexte, nous nous intéressons à la spécification de services multi-média ayant de fortes contraintes temporelles. Nous proposons ensuite des solutions pour leur support sur des plates-formes réparties multi-média.

Les axes de recherche sont les suivants :

- Modélisation par objet de services multi-média - Ex : services coopératifs (conférences réparties, télé-enseignement, télé-médecine).
- Modélisation par objet de l'information multi-média - Ex : MHEG, OpenDoc.
- Support des services et des informations multi-média par des plates-formes réparties à objet multi-média) - Type CORBA, DCOM, et sur le Web.
- Spécification et support des échanges d'informations avec contraintes temporelles.
- Aspects systèmes et réseaux (ex : QoS) des plates-formes réparties multi-média à objets.

Ce travail s'effectue en coopération avec KPN Research, Pays-Bas (Dr Ir P. Leydekkers), l'ENST-Paris (Dr Elie Najm), le CRC for Distributed Technology, Sydney, Australie (P.Ray, Dr M. Fry). Ces collaborations ont donné lieu à l'écriture d'articles dans des revues, des conférences et des workshops internationaux.

Nous contribuons aussi activement à la standardisation du traitement ouvert réparti ODP (Open Distributed Processing) dans le cadre d'une réflexion internationale menée par l'ISO et l'ITU. Notre apport principal ici est au niveau d'une expertise multi-média lors de l'élaboration des standards.

Contrôle des ressources et de la bande passante

P. ANELLI, S. FDIDA, Y. MORET

L'apparition de réseaux haut débit et de nouvelles applications provoque une modification sensible des flux d'informations véhiculées. En effet, l'augmentation de la capacité de

transmission d'un réseau entraîne un accroissement de la dynamique des flux (rafales) et de la capacité mémoire du réseau (appelé produit débit.délai). Ce phénomène va s'amplifier avec l'apparition d'infrastructures opérant à plusieurs Gbits/s. La forte variabilité de ces flux rend délicat un contrôle dynamique de la bande passante afin de satisfaire les contraintes de service des applicatifs tout en exploitant correctement les ressources du réseau. L'intégration des services signifie que l'on va manipuler des sources de natures différentes, telles que des fichiers de données, de la voix, des écrans numérisés ou de l'image. Le transport de ces informations possède des contraintes de qualité de service différentes suivant le type de source manipulé: certaines sources demandent un taux d'erreur faible (données, vidéo comprimée), d'autres peuvent supporter un taux d'erreur plus conséquent (voix numérique) mais nécessitent le respect très strict de contraintes temporelles fortes (voix, images). On voit bien la difficulté de l'intégration des services qui doit assurer des contraintes de natures différentes en fonction des sources et du service demandé. Cet aspect doit être pris en compte aussi bien au niveau de l'architecture de commutation (d'où le choix de l'ATM), qu'au niveau du transport et des applications.

De nombreux développements sont encore à faire dans ce domaine, en particulier en relâchant des hypothèses de comportement fortes et en développant des techniques de contrôle efficaces. Différents contrôles peuvent être envisagés : préventif, proactif, réactif. La difficulté est de faire face aux rafales de trafic qui peuvent entraîner des congestions brutales du réseau, avec un délai de réaction raisonnable et en manipulant des informations d'états retardées (en raison du temps de propagation non négligeable par rapport au temps de transmission).

Nous développons des techniques et des outils pour l'analyse des réseaux haute vitesse. En particulier, nous travaillons depuis plusieurs années sur l'utilisation de techniques réactives pour le contrôle de flux et de congestion. Cela nous a conduits à développer un algorithme très performant (Fdida et al. 1995) pour le support du service ABR (Available Bit Rate) défini par l'ATM Forum comme la solution pour une meilleure maîtrise de la bande passante pour les services élastiques. Cet algorithme, développé en coopération avec IBM (R. Onvural / IBM RTP USA, C. Galand et A. Fichou / IBM La Gaude), fait l'objet d'un brevet. Il a été validé par des analyses mathématiques démontrant des propriétés indispensables de convergence et d'équité. Il a aussi été analysé par un dimensionnement fin, basé sur une simulation détaillée de son fonctionnement. L'algorithme repose sur l'exploitation de techniques d'évaluation de la bande passante résiduelle laissée libre par les trafics CBR et VBR. Il permet ainsi le calcul d'une bande passante explicite (ER) et son partage dynamique entre l'ensemble des utilisateurs. Par ailleurs, il sait récupérer effectivement la bande passante non consommée par les flux VBR. Les capacités de l'algorithme à transporter du trafic TCP ont été évaluées et comparées à une autre approche de type UBR-EPD (Early Packet Discard).

Les résultats de ces travaux sont utilisés et adaptés au cas du service différencié de l'IETF. Ce service constitue une première solution, plus simple, qui permet de développer un service (Assuré) meilleur que le service «Best Effort» traditionnel. Notre approche repose sur un contrôle de la longueur moyenne des files d'attente des deux services (Best Effort et Assuré).

Méthodes d'approximations à forme-produit pour l'analyse de réseaux de files d'attente généraux

B. BAYNAT, Y. DALLERY, C. DUTHEILLET

L'objectif de cette étude est de développer des méthodes approximatives d'analyse de réseaux de files d'attente généraux, fondées sur l'utilisation de solutions à forme produit. Cette étude concerne principalement les réseaux fermés. Cependant, elle s'applique aussi à

certaines classes de réseaux ouverts comportant des contraintes de population. De tels réseaux peuvent en effet être vus de façon équivalente comme des réseaux fermés.

Nous avons tout d'abord considéré des réseaux comportant une seule classe de clients. Nous avons proposé une méthode générale d'analyse de réseaux fermés comportant des mécanismes divers tels que : temps de service généraux, blocages, contrainte de population, fork/join, routage dépendant de l'état, etc. Cette méthode fournit une vision unifiée de deux techniques très utilisées pour obtenir des solutions approximatives : la technique d'agrégation et la méthode de Marie. Le principe de cette méthode est de partitionner le réseau en un ensemble de sous-réseaux. Cette partition doit satisfaire un certain nombre de règles. On associe ensuite à cette partition un réseau à forme produit dont chaque station correspond à un sous-réseau du réseau initial. Chaque station a un taux de service dépendant de l'état. La technique d'agrégation et la méthode de Marie apparaissent alors comme deux façons d'estimer ces paramètres. Une application de ces méthodes au cas de réseaux fermés avec sous-réseaux ayant des contraintes de capacité a été effectuée.

Nous avons ensuite proposé une méthode d'étude de réseaux multiclassés généraux (Baynat et al. 1996). Cette méthode est une généralisation de la méthode de Marie. L'idée est de représenter de façon approximative le comportement du réseau multiclassé par le comportement d'un ensemble de réseaux monoclasses, chaque réseau monoclasse étant associé à une classe de clients du réseau multiclassé. Le principe de cette méthode est, comme dans le cas de réseaux monoclasses, de partitionner le réseau en un ensemble de sous-réseaux. Cette partition doit satisfaire un certain nombre de règles. On associe ensuite à cette partition, et pour chaque classe de clients, un réseau à forme produit dont chaque station correspond à un sous-réseau du réseau initial. Une procédure itérative est utilisée afin de déterminer les paramètres inconnus.

Cette méthode a déjà été appliquée à différentes classes de modèles : réseaux de files d'attente multiclassés avec disciplines FIFO ou priorités ; réseaux de files d'attente comportant des mécanismes de type fork/join ; réseaux de files d'attente avec mécanismes de synchronisations. Dans le cas particulier de réseaux à forme produit, cette méthode permet d'obtenir des résultats approximatifs pour des réseaux de grande dimension pour lesquels les algorithmes exacts ne peuvent être appliqués. Dans le cas où le réseau comporte un nombre important de classes de clients, la complexité de l'analyse des sous-systèmes en isolation peut être grande. Pour éviter ce problème, nous avons proposé une technique d'agrégation qui permet de réduire de manière très importante cette complexité. L'idée de cette technique est très générale puisqu'elle consiste, pour calculer les paramètres associés à une classe donnée, à représenter le comportement des autres classes au moyen d'une classe agrégée. Cette idée a déjà été appliquée avec succès dans le cas de stations multiclassées à discipline de service FIFO (Baynat et al. 1996) et dans le cas de stations de synchronisation (Baynat et al. 1995).

Le travail porte actuellement sur l'obtention de règles et de méthodes de partitionnement automatique pour la méthode de décomposition multiclassée afin de proposer une méthode générale et une approche systématique d'analyse de réseaux de files d'attente multiclassées quelconques. Ces règles sont liées aux propriétés qualitatives du modèle considéré, et en particulier aux invariants structurels. Cette partie de l'étude fait donc fortement appel aux résultats d'analyse qualitative, en particulier ceux issus de la théorie des réseaux de Petri.

Analyse qualitative

C. DUTHEILLET, M. ZOUAOUI

Ce travail se divise en deux axes bien différents. Nous nous intéressons d'une part à l'analyse de la vivacité dans les réseaux de Petri colorés. D'autre part nous travaillons sur la

définition d'un langage permettant d'exprimer des propriétés de performances très générales sur un système, ainsi que sur les méthodes d'évaluation de ces propriétés.

Il existe, pour certaines classes de réseaux de Petri telles que les graphes d'événements ou les réseaux à choix libre, des algorithmes de graphe permettant de prouver (ou d'invalider) la vivacité du réseau en temps polynomial. Nous nous intéressons dans cette étude à l'extension de ces techniques aux réseaux de Petri colorés. Cette extension pose deux problèmes majeurs. Dans un premier temps, nous devons être capables de caractériser de manière efficace les réseaux colorés dont la structure est, par exemple, celle d'un graphe d'événements. En effet, contrairement à un réseau de Petri ordinaire dont la classe peut être déterminée directement au vu de la structure de son graphe, une partie de l'information sur la structure d'un réseau coloré est incluse dans la définition des fonctions de couleurs qui étiquettent les arcs. Il faut donc déterminer les conditions que doivent vérifier à la fois la structure du modèle et les fonctions de couleur pour qu'un réseau appartienne à une classe donnée. Cette partie de l'étude a été réalisée.

La deuxième partie de l'étude consiste à étendre les algorithmes de graphe au modèle coloré. La difficulté est ici de pouvoir travailler directement au niveau du graphe du réseau de Petri coloré, sans avoir recours à un dépliage, ce qui implique de connaître l'information structurelle contenue dans les fonctions de couleurs. Cette partie ne peut être réalisée de manière efficace que si les fonctions sont elles-mêmes bien structurées. Nous nous appuyons donc dans un premier temps sur le modèle des réseaux de Petri réguliers où toutes les fonctions de couleurs sont construites à partir de deux fonctions de base, l'identité et la diffusion. Cette classe de réseaux colorés a cependant un pouvoir d'expression limité. Nous visons donc ensuite à étendre les résultats aux réseaux bien formés dont le pouvoir d'expression est celui des réseaux colorés généraux. Ce travail est réalisé en coopération avec K. Barkaoui (CNAM) et J.-M. Couvreur (LaBRI).

Notre deuxième axe de recherche concerne la définition et l'évaluation de propriétés de performances. En analyse qualitative, la logique temporelle permet de formaliser un grand nombre de propriétés sur l'évolution d'un système. De plus, des algorithmes efficaces existent pour vérifier ces propriétés sur le graphe d'états. Cependant, une formule énoncée en logique temporelle ne peut être que vraie ou fausse. Si elle est vraie, elle correspond à une propriété qui est vérifiée pour toute exécution du système, ou pour une exécution au moins (suivant les quantificateurs qui apparaissent dans la formule). Dans ce deuxième cas, il est souvent intéressant de calculer le pourcentage des exécutions pour lesquelles elle est vérifiée. De même, si elle est fausse, on peut souhaiter calculer son taux d'erreur pour savoir s'il est acceptable. Nous avons donc défini un langage de type logique temporelle, dans lequel nous avons introduit des opérateurs de probabilité pour pouvoir exprimer ce type de propriétés. Ce langage est dérivé de la logique temporelle TCTL, qui inclut aussi des opérateurs de temps, et permet donc d'exprimer des propriétés très générales. Nous avons aussi proposé, pour les propriétés probabilisées, des méthodes permettant d'optimiser la construction du graphe d'états utilisé pour la vérification. Il s'agit en fait d'éviter autant que possible de construire des parties inutiles du graphe en guidant la construction vers les états ou les séquences susceptibles de vérifier la propriété.

Modélisation et évaluation de performances de systèmes de production avec pannes et blocage

Y. DALLERY, H. LE BIHAN

L'objectif de ce travail est de développer des méthodes analytiques d'évaluation de performances de systèmes de production dans lesquels les machines sont sujettes à des pannes et dont les buffers sont à capacité finie. Les hypothèses de travail sont les suivantes : les temps de service sont déterministes, les temps de bon fonctionnement et les temps de

réparation sont distribués exponentiellement. Nous nous sommes intéressés à une modélisation de ce type de systèmes de production au moyen d'un modèle continu (encore appelé modèle fluide). Dans ce modèle, le flot discret de pièces est approximé par un flot continu. Ce modèle se justifie par le fait qu'en général les temps entre pannes sont grands devant les temps de service.

Une méthode de décomposition a été développée afin d'obtenir une solution approximative du modèle continu d'une ligne de production homogène (toutes les machines ont le même temps de service) composée d'un nombre quelconque de machines. Le principe général est de décomposer l'étude d'une ligne de K machines en $K-1$ études de sous-lignes composées de deux machines et d'un stock intermédiaire pour lesquelles une solution exacte peut être obtenue. Les paramètres de performances sont alors obtenus au moyen d'un algorithme itératif. Cette méthode a été étendue au cas de lignes d'assemblage. Nous nous sommes aussi intéressés au cas de lignes de production bouclées, i.e., des lignes dans lesquelles circulent un nombre constant de palettes. Pour ces modèles, nous avons proposé une extension des méthodes de décomposition de lignes ouvertes en utilisant l'idée de la contrainte de population moyenne déjà utilisée dans le contexte des réseaux de files d'attente avec blocage (Frein et al. 1996). Nous avons proposé une amélioration de la méthode de décomposition qui tient compte des deux ou trois premiers moments des distributions de temps de réparations des machines "équivalentes", au lieu de seulement la moyenne dans la méthode originale (Le Bihan et al. 1997). Nous avons aussi étudié le cas de lignes non-homogènes, c'est-à-dire où les machines peuvent avoir des temps de service différents. L'approche retenue consiste à d'abord transformer la ligne non-homogène en une ligne homogène "équivalente" qui peut ensuite être analysée par la méthode de décomposition de lignes homogènes. Nous avons proposé et comparé plusieurs techniques d'homogénéisation (Dallery et al. 1997).

Certains problèmes particulièrement importants en termes d'applications n'ont pas encore reçu de réponses satisfaisantes quant aux méthodes analytiques utilisables. Citons par exemple le cas de machines en parallèle, la prise en compte de problèmes de qualité sur les pièces produites, ou bien encore les systèmes de production à topologie générale comportant des phénomènes d'assemblage et de contraintes de population "de type palettes". Le travail actuel porte sur l'adaptation de la méthode de décomposition à ces différentes situations. Ceci devrait conduire à une méthode de décomposition applicable à une large classe de lignes de production avec pannes et blocages.

Un autre objectif sera la valorisation de ce travail par le développement d'un logiciel. Ce projet de logiciel est mené conjointement avec le Laboratoire d'Automatique de Grenoble. Le premier prototype est développé en C++ sous Windows 95 pour PC. Il intégrera les différentes méthodes dont nous disposons actuellement ainsi que celles à venir, et possèdera une interface graphique conviviale. Nous avons déjà mené quelques études industrielles avec succès mais les utilisateurs potentiels de nos techniques sont bien plus nombreux. Le support d'un logiciel portable sera d'un apport important pour démontrer aux industriels l'intérêt de ces méthodes.

Modélisation, évaluation de performances et gestion de systèmes de production à flux tirés

B. BAYNAT, Y. DALLERY, F. KARAESMEN, F. DE VÉRICOURT

Nous nous intéressons à la méthode "Kanban" qui est une méthode, relativement simple conceptuellement mais néanmoins assez efficace, de gestion de systèmes de production à flux tiré. Dans le cas général, le système de production est décomposé en un ensemble de K mailles. A chaque maille est associé un nombre de kanbans fixé qui limite le nombre total de pièces en cours de production ou terminées dans la maille. L'objectif de cette étude est

de développer des méthodes analytiques permettant de mieux comprendre le fonctionnement de systèmes Kanbans et d'en évaluer les performances.

Nous avons développé une méthode approximative d'évaluation de performances de systèmes Kanbans modélisés par un réseau de files d'attente (Di Mascolo et al. 1996). Le principe général est de décomposer le système en un ensemble de sous-systèmes, chaque sous-système correspondant à une maille du système initial. On se ramène alors à l'étude de K réseaux de files d'attente fermés dont les paramètres inconnus sont calculés à l'aide d'un algorithme itératif. Une version de cette méthode, équivalente en termes d'équations mais plus rapide, a été développée en s'appuyant sur la méthode multiclasse d'approximation à forme produit citée plus haut. Une extension de ce travail a porté sur l'étude de systèmes d'assemblage pilotés avec la méthode Kanban. Nous avons dans ce cas défini deux mécanismes de transfert des pièces dans la maille d'assemblage (transfert simultané et transfert indépendant). Nous avons étendu la méthode analytique décrite ci-dessus pour pouvoir l'appliquer à chacune de ces situations (Di Mascolo et al. 1996). Une méthode plus générale que la méthode Kanban, le Kanban généralisé, permet d'introduire des degrés de libertés supplémentaires dans la conduite d'un système de production à flux tiré. Nous nous sommes donc intéressés au Kanban généralisé et avons étendu notre méthode à ce type de systèmes. Le principe général de décomposition en K sous-systèmes reste valable. La différence se situe au niveau de la caractérisation et de l'analyse de chacun des sous-systèmes.

Les études sur les systèmes de conduite de "type Kanban" nous ont amenés à nous intéresser au problème de la définition et l'étude de politiques de conduite de systèmes de production à flux tiré. La méthode Kanban est une méthode simple puisqu'elle ne dépend que d'un paramètre par maille, le nombre de Kanbans. Cependant, elle n'offre pas assez de souplesse et ne permet donc pas toujours de bien optimiser la performance du système, c'est-à-dire réaliser le meilleur compromis entre coûts de stockage et qualité de service vis-à-vis des clients. L'idée est alors de définir des politiques de conduite plus souples tout en restant relativement simples. C'est l'objectif qui a conduit à la proposition de la politique "Kanban généralisé" qui dépend de deux paramètres par maille. Cette politique remplit en partie l'objectif puisqu'elle permet effectivement de mieux optimiser le système. Cependant, elle est assez complexe à comprendre et de plus nous avons montré qu'elle présentait aussi certains inconvénients importants. Cette conclusion nous a conduits à proposer une nouvelle méthode de gestion de systèmes de production à flux tiré que nous appelons "Kanban étendu". Cette méthode combine la méthode Kanban et la méthode "Base-Stock" proposée dans le contexte de gestion de stocks. Comme le Kanban généralisé, notre méthode dépend aussi de deux paramètres par maille. Cependant, elle est beaucoup plus simple à comprendre et n'a pas les inconvénients de la méthode "Kanban généralisé". Des premiers résultats portant sur l'établissement de propriétés de la méthode "Kanban étendu" ont été obtenus. Nous avons aussi généralisé cette méthode au cas de systèmes d'assemblage. Les études actuelles portent sur la mise en évidence quantitative de la supériorité de la méthode "kanban étendu".

Nous avons commencé à nous intéresser au cas de systèmes de production multiproduits à flux tirés. Le problème additionnel qui se pose dans ce contexte, outre le problème de coordination déjà rencontré dans le cas de systèmes monoproduits, concerne le partage de capacité entre les différents produits. Cette étude fait l'objet d'une action du LIP6 intitulée : Gestion de systèmes de production multi-produits à flux tirés.

Aide à la conception de systèmes flexibles de production

B. BAYNAT, Y. DALLERY, F. KARAESMEN

Ces travaux concernent les problèmes d'aide à la conception de systèmes flexibles de production, encore appelés ateliers flexibles. Ces systèmes reposent sur l'utilisation de machines à commande numérique qui peuvent produire plusieurs types de pièces avec des temps de reconfiguration nuls ou très faibles pour passer d'un type de pièces à un autre. L'investissement financier en technologie flexible étant très important, il est indispensable de dimensionner au mieux ces systèmes lors de leur conception. Nous nous sommes intéressés à la problématique de dimensionnement d'un atelier flexible fabriquant plusieurs types de produits dans des ratios de production (volume relatif de production de chaque type de produits) donnés. Nous avons proposé un algorithme permettant de déterminer la capacité de production (taux de production maximal) d'un tel système (Buitenhek et al. 1998). Cet algorithme peut utiliser soit la simulation soit des techniques analytiques comme outil d'évaluation de performances.

Une autre étude se situe dans le cadre du projet européen MOD-FLEX-PRO (Brite-Euram). Ce projet a pour objectif de développer une nouvelle architecture de systèmes flexible de production réalisant un meilleur compromis entre productivité et flexibilité. En effet, les ateliers flexibles existants sont souvent très flexibles mais assez peu productifs. Ce projet, dont le coordinateur est un fabricant de machines-outils à commande numérique et de systèmes flexibles de production, fait appel à des compétences très variées (mécanique, informatique, électronique, gestion de production). Notre rôle, outre notre participation à la définition de la nouvelle architecture, est de développer des outils d'évaluation de performances de celle-ci et de proposer des méthodes de gestion de la production permettant d'optimiser ces performances, c'est à dire atteindre le meilleur compromis entre productivité et flexibilité.

Etude du taux de perte de cellules dans un réseau à haut débit

Y. DALLERY

Nous nous intéressons à développer des méthodes permettant d'évaluer les performances de réseaux à haut débit, en particulier les réseaux ATM. Dans ces réseaux, il faut assurer une qualité de service dont un des aspects est de garantir un taux de perte de cellules inférieur à une valeur donnée (par exemple 10^{-8}). Dans un réseau ATM, il n'y a pas de contrôle d'erreur entre les différents noeuds de commutation et donc des pertes de cellules peuvent se produire du fait de la capacité finie des buffers. Un paramètre de performance essentiel est donc le taux de perte de cellules de bout en bout. Le système est modélisé par un réseau de files d'attente en tandem avec files à capacité finie. Quand un client (une cellule) arrive à une file pleine, ce client est perdu. Nous avons d'abord considéré des hypothèses markoviennes simples : arrivées suivant un processus de Poisson et temps de service exponentiels. Sous ces hypothèses, nous avons pu obtenir des bornes facilement calculables sur le taux de perte de bout en bout. La démonstration de ces résultats a été effectuée au moyen d'une approche de type trajectorielle (sample-path). La borne supérieure, qui est la plus intéressante dans un objectif de dimensionnement, est très proche de la valeur exacte .

Nous nous sommes ensuite intéressés au cas plus général d'un réseau de Jackson avec capacités finies et phénomènes de perte. Nous avons étendu les résultats précédents (bornes supérieures et inférieures) en utilisant une technique de comparaison stochastique. Nous comparons le comportement stochastique du réseau avec celui d'un réseau à capacité finie mais où les clients qui trouvent une file pleine "sautent" la station et poursuivent leur cheminement dans le réseau. L'intérêt d'une telle comparaison est que ce dernier type de

réseau a une forme produit et donc que l'on peut facilement calculer ses paramètres de performances. Des tests sur la qualité de ces bornes sont en cours. Ces travaux sont réalisés en collaboration avec D. Towsley (University of Massachusetts at Amherst).

Etude et comparaisons de procédures d'admission d'appel pour des sources VBR en ATM.

Y. DALLERY, G. URVOY

Si des réseaux ATM sont aujourd'hui opérationnels, seuls des contrats de trafic simples (CBR et UBR, correspondants à l'émulation de circuit et au service best-effort) sont disponibles. L'étape suivante et indispensable sera l'introduction d'une réelle pluralité en terme de qualité de service et notamment l'introduction du contrat VBR temps réel sur lequel porte nos travaux. Dans notre étude, nous nous sommes intéressés à la garantie de contraintes de services durs (taux de perte nul et délai maximum garanti pour toutes les cellules de la connexion). Cette approche est sous-tendue par les résultats puissants du Network Calculus (introduit par R.L. Cruz en 1991) qui fournissent les outils pour une étude tant au niveau d'un élément simple que d'un réseau de serveurs. Cette théorie implique de garantir des taux de perte nuls mais présente l'avantage de modéliser les sources ATM directement à partir des contraintes du contrat de trafic qu'elles passent avec le réseau (contrairement aux modélisations stochastiques des sources VBR, notamment en vidéo, qui jusqu'à présent, se sont montrées soit trop simplistes, soit trop complexes pour permettre des analyses de bout en bout). Les paramètres des contrats VBR n'étant pas renégociables, notre étude s'attache donc au problème de l'admission d'appel. Nous avons étudié, dans ce cadre déterministe, plusieurs disciplines de service : CS (Complete Sharing), CP (Complete Partitioning) et GPS (Generalized Processor Sharing). Nous avons obtenu des résultats en terme de borne sur les délais de bout en bout pour le cas de serveurs FIFO, ce qui nous a permis de déduire des bornes pour des serveurs implémentant GPS. Dans le cas d'un serveur simple, ces résultats ont mis en évidence les relations qu'entretiennent ces différentes disciplines et les conséquences au niveau de l'admission d'appel (Urvoiy et al., 1998).

Notre axe de recherche principal est désormais la détermination des worst-cases au niveau réseau (qui ne peuvent se déduire immédiatement du cas serveur simple). Notre objectif est de démontrer qu'il est possible de proposer des mécanismes simples (ayant pour base la discipline FIFO) qui permettent une introduction de qualité de service simple en terme d'admission d'appel et efficace au niveau utilisation du réseau.

Simulation parallèle de réseaux ATM de grande dimension

S. FDIDA, C.D. PHAM

Les réseaux de communication sont des systèmes complexes de grande dimension qui posent un grand nombre de problèmes. Pour l'analyse de performances de ces systèmes, les outils théoriques à notre disposition aujourd'hui montrent leurs limites. La simulation nous semble plus appropriée, et plus particulièrement les techniques de simulation parallèle qui pourraient s'avérer efficaces si on les applique aux réseaux. Simuler en parallèle soulève des problèmes de synchronisation et de respect des contraintes de causalité qui rendent cette tâche ardue.

Les algorithmes de simulation parallèle et répartie peuvent être classés en deux catégories, conservatrice et optimiste. L'approche conservatrice n'autorise l'exécution d'un événement que lorsque la certitude qu'il ne produira pas de fautes temporelles sera acquise. Pour éviter les situations d'inter-blocage, des null-messages qui se basent sur la notion de prédiction sont utilisés pour faire avancer artificiellement le temps de simulation. D'un autre côté, les

approches optimistes ne font aucune tentative pour éviter les fautes temporelles mais instaurent un mécanisme de retour-arrière pour corriger la trajectoire de la simulation lorsqu'une telle faute survient. La sauvegarde périodique des états et des anti-messages pour corriger la propagation des erreurs est alors la contrepartie d'une plus grande liberté.

Nous nous intéressons plus spécifiquement aux modèles de réseaux ATM et nous étudions les propriétés de ces modèles du point de vue de la simulation distribuée. Nous montrons qu'il est possible d'obtenir des gains significatifs en utilisant une méthode conservatrice lorsque les modèles de réseaux sont simples (topologie maillée, routage aléatoire uniforme). Pour des réseaux plus complexes (topologie quelconque, algorithme de routage) les gains restent non négligeables et permettent ainsi l'étude de systèmes de grande dimension en des temps raisonnables. Ce travail s'inscrit en partie dans le cadre d'un contrat passé avec la DRET et se prolonge avec le développement d'un simulateur distribué plus spécifique aux réseaux ATM.

Nous étudions également l'utilisation de méthodes relâchant certaines contraintes de synchronisation dans les approches optimistes. En particulier, nous proposons l'approche statistiquement correcte qui utilise des estimations locales pour corriger la trajectoire de la simulation lorsqu'on s'intéresse à des valeurs moyennes pour les critères de performances. Un algorithme de blocage basé sur la longueur de la file des événements est également proposé pour réduire le nombre de fautes temporelles et augmenter ainsi la précision des résultats (Pham et al. 1996). L'utilisation conjointe de ces deux approches est prometteuse puisque les mesures de gains montrent qu'il est possible d'aller plus vite qu'une méthode conservatrice tout en préservant une grande précision.

La simulation parallèle a par ailleurs été utilisée pour démontrer son utilisation et quantifier le gain en performance obtenu par rapport à une approche séquentielle. Des fonctions particulières telle que le routage dans les réseaux ATM ont été développées et analysées (Pham et al. 1997). Les expérimentations se font sous réseaux de stations de travail, CM5 (CNCPOST) et Cray T3E (IDRIS) sous PVM.

Publications

Livres (2)

Fdida S., *Des Autoroutes de l'Information au Cyberespace*, Flammarion, Collection Dominos, 1997.

Cizault G. (**Anelli P.** et al.). *IPv6: Théorie et Pratique*, Editions O'Reilly, 1998.

Publications parues dans des revues, notoriété importante (11)

Baynat B., Dallery Y., A product-form approximation method for general closed queueing networks with several classes of customers, *Performance Evaluation*, vol. 24 (1996), pp. 165-188.

Bouhchouch A., Frein Y., **Dallery Y.**, Performance evaluation of closed tandem queueing networks with finite buffers, *Performance Evaluation*, vol. 26 (1996), pp. 115-132.

Dallery Y., Le Bihan H., Homogeneization techniques for the analysis of production lines with unreliable machines and finite buffers, *European Journal of Control*, vol. 3 (1997), pp. 200-215.

Dallery Y., Le Bihan H., An improved decomposition method for the analysis of production lines with unreliable machines and finite buffers, *International Journal of Production Research (accepté)* (1998)

- Dallery Y.**, Liu Z., Towsley D., Properties of fork/join queueing networks with blocking under various operating mechanisms, *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, Vol. 13, No. 4 (1997), pp. 503-518.
- Di Mascolo M., Frein Y., **Dallery Y.**, An analytical method for performance evaluation of kanban controlled production systems, *Operations Research, Special Issue on New Directions in Operations Management*, vol. 44, n° 1 (1996).
- Frein Y., Commault C., **Dallery Y.**, Modeling and analysis of closed-loop production lines with unreliable machines and finite buffers, *IIE Transactions*, vol. 28 (1996), pp. 545-554.
- Fourmaux O.**, **Fdida S.**, Multicast for RSVP Switching, *Telecommunications Systems Journal*, to appear (1998).
- Lee H. S., Bouhchouch A., **Dallery Y.**, Frein Y., Performance evaluation of open queueing networks with arbitrary configuration and finite buffers, *Annals of Operations Research, special issue on queueing networks with blocking (à paraître)* (1997).
- Logé C.** and Najm E., A Computational Analysis of a Cooperative Binding Object, *Distributed System Engineering Journal*, (accepté) (1997).
- Srivatsan N., **Dallery Y.**, Partial characterization of optimal hedging point policies in unreliable two-part-type manufacturing systems, *Operations Research*, vol. 46 (1998), pp. 36-45.

Publications parues dans des revues, notoriété courante (5)

- Lee H.S., Bouhchouch A., **Dallery Y.**, Frein Y., Performance evaluation of open queueing networks with arbitrary configuration and finite buffers, *Annals of Operations Research, Special Issue on Queueing Networks with Blocking* (accepté) (1998)
- Haddad S., Ilić J.M., Taghelit M., **Dutheillet C.**, Moreaux P., Contribution des réseaux de Petri de haut niveau pour l'étude des protocoles, *RAIRO Technique et Science Informatiques*, vol. 16, n° 6 (1997), pp. 701-723.
- Fdida S.**, **Fourmaux O.**, Onvural R.O., Enabling multimedia networks, *RERIR Revue électronique sur les réseaux et l'informatique répartie*, Vol.5, (1997), pp.28-32.
- Logé C. and Gay V.**, Systèmes coopératifs multi-media basés objet fondés sur RM-ODP, *RERIR Revue électronique sur les réseaux et l'informatique répartie*, Vol.4, (1996), pp.21-48.
- Pham C. D.**, Simulations distribuées de réseaux ATM, *Calculateurs parallèles*, vol. 8, numéro 2, pp. 229-243 (1996).

Publications dans des actes de congrès ou des ouvrages de synthèse, notoriété importante (20)

- Chaouiya C., Liberopoulos G., **Dallery Y.**, Extended kanban control systems for assembly manufacturing systems, *International Conference on Industrial Engineering and Production Management*, Lyon, France (1997).
- Dallery Y.**, **Le Bihan H.**, Homogeneization techniques for the analysis of production lines with unreliable machines and finite buffers, *5th International Conference on Computer Integrated Manufacturing and Automated Technology*, Grenoble, France (1996).
- de Rezende J.**, Mauthe A., **Fdida S.**, Hutchison, D., Fully Reliable Multicast in Heterogeneous Environments, *IFIP/IEEE Protocols for High-Speed Networks, PfHSN'96*, Sophia Antipolis, France (1996).
- Fdida S.**, "Multimedia transport protocol and multicast communication", in: *High-Speed Networking for Multimedia Applications*, W. Effelsberg, O. Spaniol, A. Danthine, D. Ferrari (eds.), Kluwer Academic Publishers (1996).

- Karmouch A., **Horlait E.**, Agent-based Multimedia Communications on Internet, *IEEE CCECE'98*, Waterloo, Ontario, Canada, (1998).
- Leydekkers P., **Gay V.**, ODP view on Quality of Service for Open Distributed Multimedia Environments, Quality of Service - Description, Modelling and Management, Andreas Vogel and Jan de Meer editors. *4th International IFIP Workshop on QoS*, Paris, France, (1996).
- Moret Y. and Fdida S.**, ERAQLES an Efficient Explicit Rate Algorithm for ABR, *IEEE GLOBECOM'97*, Phoenix, USA, Vol. 2, (1997) pp. 801-805.
- Moret Y., Fdida S.**, Galand C. and Fichou A., Evaluation of the ER Algorithm ERAQLES in Different ABR Environments, *5th IFIP Workshop on Performance Modelling and Evaluation of ATM Networks*, Ilkley, Grande Bretagne, (1997) pp. 48/1-48/13 également dans *ATM Networks: Performance Modelling and Analysis*, Kouvatso D. (Eds.), Chapman and Hall, vol.4, (à paraître) (1998)
- Pham C. D., Essmeyer J., Fdida S.**, Simulation of a routing algorithm using distributed simulation system, *Euro-Par'97 Conference*, Passau, Germany (1997).
- Pham C. D., Fdida S.**, Length-Based Blocking and Local Estimations in Distributed Simulation : A Case Study, *Proceedings of the 29th Annual Simulation Symposium*, New Orleans, USA (1996).
- Pham C. D., Brunst H., Fdida S.**, How Can We Study Large and Complex Systems, *Proceedings of the 31th Annual Simulation Symposium*, Boston, USA, pp126-134, (1998).
- Pham C. D., Brunst H., Fdida S.**, Simulation of Load-Balanced Routing in a Large ATM Network Model, *Proceedings of the 12th Parallel and Distributed Simulation workshop (PADS'98)*, Banff, Canada. (1998).
- Pham C. D., Fdida S.**, Perspective in performance evaluation of large ATM networks, *5th IFIP Workshop on Performance Modelling and Evaluation of ATM Networks*, Ilkley, West Yorkshire, U.K. (1997).
- Ray P., **Logé C.**, Fry M., Middleware for Heterogenous Multimedia Services, *Proceedings of the European Conference on Networks and Optical Communications (NOC'96)*, Heidelberg, Allemagne, (1996).
- Romano S.P., **Deleuze C., Rezende J.F. and Fdida, S.** "Integrated QoS Architecture for IP Switching", *Proceedings of the 3rd European Conference on Multimedia Applications, Services and Techniques (ECMAST'98)*, Berlin, Germany, (1998).
- Soto M., Allongue S.**, Inter-Collaborative Virtual Environments. *Collaborative Virtual Environments 1998 (CVE'98)*, 17th-19th June 1998, Manchester University, Manchester, UK.
- Soto M., Allongue S.**, Interoperable Networked Virtual Environments. *IEEE International Conference on Multimedia Computing and Systems 1998 (ICMCS'98)*, June 28-July 1, 1998, Austin, Texas, USA.
- Soto M., Allongue S.**, A semantic Approach of Virtual Worlds Interoperability, *IEEE Sixth Workshops on Enabling Technologies : Infrastructure for Collaborative Enterprises, WET ICE'97*, Cambridge, Massachusetts, USA, (1997).
- Soto M., Le Van Gong H.**, Achieving Networked Virtual Environments Interoperability, *IEEE-ACM Fourth International Workshop on Interactive Distributed Multimedia Systems and Telecommunication Services, IDMS'97*, Darmstadt, Germany, (1997).
- Soto M., Le Van Gong H.**, The Distributed Concepts in NOVÆ, *IEEE Sixth Workshops on Enabling Technologies: Infrastructure for Collaborative Enterprises , WET ICE'97*, Cambridge, Massachusetts, USA, (1997).

Publications dans des actes de congrès ou des ouvrages de synthèse, notoriété courante (19)

- Allongue S., Soto M.**, Paradigmes sur les comportements dans le cadre de l'Interopérabilité en Réalité Virtuelle, *Première Conférence Francophone de Modélisation et Simulation, MOSIM'97*, Rouen, France (1997).
- Anique E., Thai K.L.**, Un service de transport flexible pour les communications de groupe, *Actes du Congrès Francophone sur l'Ingénierie des Protocoles, CFIP'96*, Rabat, Maroc (1996).
- Anique E., Thai K.L.**, A Flexible Transport Service for Group Communication, *Proceedings of the EUNICE summer school on telecommunications services, EUNICE'96*, Lausanne, Switzerland (1996).
- Atmaca T., Borcoci E., Munteanu N.**, Multiservices with delay guarantees in ATM networks, *International Conference on Telecommunications*, Istanbul, Turkey (1996).
- de Rezende J.F., Fdida S.**, *La communication de groupe de bout-en-bout, Conférence Francophone sur l'Ingénierie des Protocoles, CFIP'96*, Rabat, Maroc (1996).
- Di Mascolo M., Dallery Y.**, Performance evaluation of kanban controlled assembly systems, *Symposium on Discrete Events and Manufacturing Systems of the Multiconference IMACS-IEEE/SMC CESA'96*, Lille, France (1996).
- Fourmaux O., Deleuze C.**, Qualité de service hétérogène et dynamique pour liaisons ATM point-à-multipoint", *Actes du Congrès Francophone sur l'Ingénierie des Protocoles, CFIP'97*, Liège, Belgique (1997).
- Fourmaux O.**, Gestion des flots de données multicast, dynamiques et hétérogènes avec RSVP sur les réseaux ATM, *Actes des Journées doctorales informatique et réseaux, JDIR'96*, Paris, France (1996).
- Hamma S., Atmaca T.**, Traffic and congestion control mechanisms on the LAN-FR interconnection, *International Conference on Telecommunications*, Istanbul, Turkey (1996).
- Horlait E., Bouyer M.**, Bandwidth Management and reservation over shared media, *SFBSD'97*, Fortaleza, Brésil (1997).
- Jouaber B., Atmaca T.**, On policing for high-speed networks, *International Conference on Telecommunications*, Istanbul, Turkey (1996).
- Karaesmen K., Dallery Y.**, A performance comparison of pull type control mechanisms for multi-stage manufacturing systems, *10th International Working Seminar on Production Economics*, Innsbruck, (1998).
- Le Bihan H., Dallery Y.**, New extensions of a decomposition method for the performance evaluation of manufacturing flow systems, *International Workshop on Performance Evaluation and Optimization of Production Lines*, Samos, (1997)
- Logé C. and Gay V.**, Distributed Cooperative Multimedia Services based on RM-ODP, *EUNICE'96*, Lausanne, Suisse, (1996).
- Logé C.**, Etude et Conception de systèmes coopératifs fondées sur le modèle de référence ODP, *Journées Doctorales Informatique et Réseaux*, ENST Paris, France, (1996).
- Picard F., Rezende J., Anelli P., Bouyer M., Fdida S., Gautier J.-P.**, Experimentations IP et ATM dans le projet MIRIHADÉ, 2iemes journées réseaux JRES'97, La Rochelle, France (1997).
- Pham C.D., Fdida S.**, Evaluation de Performance des Réseaux ATM: Etude et Perspectives en Utilisant la Simulation Distribuée, *Actes du Congrès Francophone sur l'Ingénierie des Protocoles, CFIP'96*, Rabat, Maroc (1996).
- Ray P., Logé C., Gay V., Fry M.**, Cooperative Network Management from ODP viewpoints, *IFIP TC6, first electronic publication on Upper Layer Protocol Architecture and Applications (ULPAA)*, (1996).

Urvoy G., Dallery Y., CAC Procedures For Delay-constrained VBR sources, *IFIP ATM'98*, Bradford, UK (1998).

Brevets (2)

Procédé de gestion de bandes allouées dans les réseaux locaux à accès partagés, protocole et filtre de mise en œuvre (Bouyer M., Horlait E., brevet déposé pour la France le 19/6/97 n° 9707667).

ATM Network Congestion Control System Using Explicit Rate Cell Marking (Fichou A., Fdida S., Galand C., Marin G.A., Onvural R.O., VU K., brevet déposé pour les USA le 3/1/97, n° RA996070 et Taiwan).

Logiciel (1)

Anelli P., Brodard B., Diot C., Horlait E., Souche IPv6 pour Linux, <http://www-rp.lip6.fr/IPv6/> (1996-1997)

Divers et rapports de recherche (2)

Brandwajn A., **Fdida S.**, *Modelling and analysis of a transport multicast protocol*, Rapport de recherche, UC Santa Cruz, Santa Cruz, USA (1996).

Fourmaux O., *Adaptation du protocole RSVP sur les réseaux ATM*, Laboratoire MASI, Rapport 96/24, Paris (1996).

Animation de la recherche

Activités éditoriales

Rédacteur de revues et membres de comités de lecture

Dallery Y.,

- IIE Transactions on Design and Manufacturing (comité de rédaction)

Fdida S.,

- Computer Communications Journal (comité de rédaction)

- Réseaux et Informatique Répartie (comité de rédaction)

- RESIM : Réseaux Et Systèmes d'Information Multimédia (comité de rédaction)

Gay V.,

- Réseaux et Informatique Répartie (comité de rédaction)

Horlait E.,

- Réseaux et Informatique Répartie (comité de rédaction)

Éditeur d'actes de congrès ou d'ouvrages collectifs

Fdida S.,

- Proceedings of European Conference on Multimedia Applications, Services and Techniques (ECMAST'97), Milano, 1997 (co-éditeur avec M. Morganti)

Rédacteur associé d'une revue

Dallery Y.,

- Special Issue on Queueing Networks with Finite Capacity, *Annals of Operations Research* (co-éditeur avec D. Kouvatso), 1997.
- numéro spécial sur l'évaluation de performances, *RAIRO Recherche Opérationnelle*, (co-éditeur avec J.M. Fourneau, B. Lemaire et R. Marie), 1998

Organisation scientifique de congrès et colloques

Président de conférence

Fdida S.,

- European Conference on Multimedia Applications, Services and Techniques (ECMAST'97), Milano, 1997. (co-chairman avec M. Morganti).
- PROMS-MmNET, Protocol for multimedia networks, IEEE-IFIP, Paris, 1998. (chairman).

Membre de comité de programme ou de comité scientifique d'un congrès

Dallery Y.,

- International Conference on Computer Integrated Manufacturing and Automation Technology (CIMAT'96), Grenoble, 1996.
- International Workshop on Petri Nets and Performance Models (PNPM97), Saint-Malo, France, 1997.
- International Conference on Operations and Quantitative Management (ICOQM), Jaipur, Inde, 1997.
- International Workshop on Performance Evaluation and Optimization of Production Lines, Karlovassi, Grèce, 1997.

Dutheillet C.,

- International Workshop on Petri Nets and Performance Models (PNPM97), Saint-Malo, France, 1997.

Fdida S.,

- De Nouvelles Architectures pour les Communications (DNAC'96), Paris, 1996.
- De Nouvelles Architectures pour les Communications (DNAC'97), Paris, 1997.
- Conference Francophone sur l'Ingénierie des Protocoles, CFIP, Rabat, 1996.
- Conference Francophone sur l'Ingénierie des Protocoles, CFIP, Liège, 1997.
- ITC Specialist Seminars, Control in Communications, Lund, Suède, 1996.
- Multimedia Modelling MMM'96, Toulouse, 1996.
- High Performance Networking VII (HPN'97), New York, 1997.
- IEEE Multimedia Systems 97 (MMS'97), Ottawa, juin 1997.
- IFIP International Conference on Computer Communications (ICCC'97), Cannes, 1997.
- IEEE Globecom'96 Workshop on High Speed Transport Protocols, London, 1996.
- IFIP/IEEE Protocol for High-Speed Networks Workshop (PfHSN'96), Sophia-Antipolis, 1996.
- ECMAST'97, Milan, 1997.
- IEEE ATM Workshop'97, Lisbonne, 1997.
- Sixth IFIP ATM-98 Workshop, Ilkley, 1998.

- ECMAST'98, Berlin, 1998.
- High Performance Networking VIII (HPN'98), Vienna, 1998.
- AFRICOM-CCDC'98, Tunis, 1998.
- IEEE ATM Workshop'98, Fairfax, 1998.
- Protocols for Long-Delay Broadband Networks (in IEEE Globecom'99), Sydney, 1998.
- IEEE ATM '99 Workshop, Kouchi, Japan, 1999.
- IEEE Infocom'99, New-York, 1999.
- Conférence Francophone sur l'Ingénierie des Protocoles, CFIP, Nancy, 1999.

Gay V.,

- 1st international workshop on New Technology for Distributed Processing , (NOTERE'97), Pau, France, 1997
- 2nd French workshop on Network and Service Management, (GRES'97), Saint Malo, France, 1997.

Horlait E.,

- De Nouvelles Architectures pour les Communications (DNAC'96), Paris, 1996.
- De Nouvelles Architectures pour les Communications (DNAC'97), Paris, 1997.
- Conférence Francophone sur l'Ingénierie des Protocoles, CFIP, Rabat, 1996.
- Conférence Francophone sur l'Ingénierie des Protocoles, CFIP, Liège, 1997.
- Conférence IEEE PROMS/MmNet'97, Santiago, Chili, 1997.
- Conférence Francophone sur l'Ingénierie des Protocoles, CFIP, Nancy, 1999.

Soto M.,

- Conférence IEEE PROMS/MmNet'98, Paris, France, 1998
- IEEE International Conference on Multimedia Computing and Systems, Florence, Italie, 1999

Organisation de séminaires

Anelli P.,

- Premier atelier du G6: "Mécanismes support de la QoS", co-responsable avec L. Toutain (ENST-Br), 1998.

Fdida S.,

- Ecole d'été GDR-PRS (RHDM'96), co-responsable avec M. Diaz (LAAS) et C. Diot (Inria Sophia)
- Ecole d'été GDR-ARS (RHDM'98), co-responsable avec M. Diaz (LAAS) et C. Diot (Inria Sophia)

Administration de la recherche

Anelli P.,

- Membre du G6 (Depuis 1996)

Dallery Y.,

- Directeur-adjoint du laboratoire MASI (Janvier 1994 - Décembre 1996)
- Membre du Comité de Direction du PRC-GDR Automatique (Depuis Janvier 1996)
- Responsable-adjoint du PRC-GDR Automatique (Depuis Janvier 1998)

- Membre du Comité Scientifique du Secteur Ingénierie de la Conception et de la Production du MENESR (Depuis Janvier 1993)

Fdida S.,

- Expert pour la DSPT4 - MST - MENESR (1996-1998)
- Membre du Comité de Direction du GDR-PRS (1994-1997), puis ARS (depuis 1998)
- Membre du comité de Pilotage du programme Télécom du CNRS
- Expert de la commission 3 du RNRT
- Président de la commission de spécialiste, 27^{ème} section, Université Paris 6
- Membre du comité de pilotage du laboratoire "Trafic Lab" d'Ericsson à Budapest (depuis 1996)
- Membre du groupe de travail IFIP WG6.3 "Performance Evaluation of Computer Networks"
- Membre du groupe de travail IFIP WG6.4 "Multimedia Networks"
- Représentant français du projet COST237- Multimedia Transport and Teleservices
- Responsable du Thème " Réseaux hauts débits et multi-media" du GDR PRS (Pôle Réseaux et Systèmes) puis ARS (Architecture, Réseaux et Systèmes)
- Responsable du Thème " Réseaux et Performance " du laboratoire MASI puis LIP6 (Depuis 1994)
- Responsable d'un projet CAPES-COFECUB Franco-Brésilien sur les réseaux multi-media coopératifs (1994-1998).

Horlait E.,

- Expert auprès de l' Australian research Council (depuis 1995)
- Responsable de l'action intégrée " Applications multi-media réparties " France-Maroc (Université Pierre et Marie Curie, Paris, LAAS, Toulouse, École Mohammadia d'Ingénieurs de Rabat, Université Mohamed V, Rabat)
- Adjoint au directeur du LIP6 (depuis 1/1/97)
- Expert auprès de l'ANVAR (1997)
- Responsable de la coopération stratégique ALCATEL-LIP6 (depuis 3/97)
- Responsable de la coopération CNRS (France) - NRC (Canada) (depuis 1/3/98)

Soto M.,

- Représentant français de la revue VR PRESENCE.

Gay V.,

- Membre depuis 1988 du groupe AFNOR sur la normalisation du traitement ouvert réparti (Open Distributed Processing).
- Déléguée depuis 1991 aux réunions internationales AFNOR ISO/IEC JTC1/SC21/WG7 (Open Distributed Processing). Défense de contributions françaises au niveau international et contributions sur les différents documents.
- Membre du groupe AFNOR sur la messagerie X.400.
- Contribution à l'élaboration de standards ODP : *Basic Reference Model of Open Distributed Processing*., *ODP interface references and Binding (DIS)*, *Quality of Service and ODP (NWI)*, Draft editeur du document " Quality of Service and ODP ".

Logé C.,

- Membre depuis 1988 du groupe AFNOR sur la normalisation du traitement ouvert réparti (Open Distributed Processing).
- Membre du PRC GT SCOOP.

Habilitations et thèses (11)

- Anique E.**, *Communication de groupe: service et protocole de transport à fiabilité intègre*, Doctorat d'Université, UPMC, 5/12/97, encadré par Thai K./Fdida S.
- Brou C.**, *Routage de niveau applicatif pour les service multi-media*, Thèse d'université, UPMC, 5/12/96, encadré par Rolin P./Fdida S.
- de Rezende J.**, *La Communication de Groupe pour les Applications Multi-media Distribuées*, Thèse d'université, UPMC, 15/1/97, encadré par Fdida S.
- Fladenmuller A.**, *Gestion des ressources et applications adaptatives*, Thèse d'Université, UPMC, 4/11/96, encadrée par Horlait E.
- Gay V.**, *Conception d'Applications Multi-media dans des Environnements Répartis Ouverts*, Habilitation à diriger des Recherches, UPMC, 5/6/97, encadrée par Horlait E.
- Le Van Gong H.**, *Modélisation des systèmes de réalité virtuelle: outils d'interopérabilité*, Thèse d'Université, UPMC, 13/12/96, encadré par Soto M./Horlait E.
- Logé C.**, *Architecture Fonctionnelle pour Systèmes Cooperatifs Répartis Ouverts Fondée sur les Standards ODP et CORBA*, Doctorat d'Université, UPMC, 8/11/96, encadré par Gay V./Horlait E.
- Moret Y.**, *Conception et évaluation d'un algorithme ABR dans les réseaux ATM: ERAQLES*, Doctorat d'Université, UPMC, 12/12/97, encadré par Fdida S.
- Pham C.D.**, *Techniques de simulation pour des systèmes de grande dimension*, Thèse d'université, UPMC, 4/7/97, encadré par Fdida S.
- Stheto M.**, *Modélisation objet des éléments de trafic d'un réseau téléphonique*, Thèse d'Université, UPMC, 7/3/97, encadrée par Horlait E.
- Zouaoui M.**, *Définition d'un langage de type logique temporelle pour la spécification et l'évaluation de performances*, Thèse d'université, UPMC, 20/03/98, co-encadré par Dutheillet C.

Projets et contrats

Participation aux grands programmes de recherche nationaux

PRC-GDR Pôle Réseaux et Systèmes

– Réseaux haut débit et multi-media

Responsable scientifique : S. Fdida, durée : 1994/1996, financement : 92 KF,
Partenaires : ENST, ENST-Br, EURECOM, INRIA Sophia-Antipolis, IRISA, LAAS, LSIIT, PRISM.

PRC-ARS Pôle Réseaux et Systèmes

– Réseaux haut débit et multi-media

Responsable scientifique : S. Fdida, durée : 1998/200, financement : - KF,
Partenaires : ENST, ENST-Br, EURECOM, INRIA Sophia-Antipolis, IRISA, LAAS, LSIIT, PRISM., ENSICA, Université Nancy, Villetaneuse, Grenoble, Lyon1, Toulouse.

SAFIR (ex MIRIHADÉ)

- Responsable scientifique : S. Fdida, contact : V. Roca, durée : 1997-1998, financement : 150 KF

Expérimentations de protocoles pour applications multi-media coopératives.

Ce projet, financé par le CNRS et l'INRIA constitue la première infrastructure de réseau haute vitesse mise à la disposition d'expérimentations pour la recherche et les centres de calcul.

Partenaires : INRIA Sophia-Antipolis, LAAS

EDISON

- Responsable scientifique : V. Roca, durée : 1998-2000, financement : 1,7 MF (263 KECU)

Conception d'une architecture générique et intégrée pour la distribution d'applications de simulation interactive.

Partenaires : Aérospatiale (FR), Alenia Aerospazio (IT), D3 (D), RUS (D), Fokker Space (NL), Silicon Worlds (FR), et DLR (D)

Contrats avec les établissements publics

DIS/ATM

Responsable scientifique : S. Fdida, durée : 1997-1998, financement : 350 KF (DRET/MENESR),

Etude et évaluation des mécanismes de contrôle des ressources en réseau hétérogène avec application au DIS.

L'objectif de ce projet est de proposer une solution pour le support d'une application de type DIS (Distributed Interactive Simulation) fournie par Dassault, sur un réseau IP/ATM en garantissant ses contraintes de qualité de service.

Partenaires: CEGETEL, Dassault Electronique, EDF-DER, INRIA Sophia-Antipolis, LAAS, PHILIPS Communications d'Entreprise.

Développement d'une souche de protocoles IP version 6

Responsable scientifique : E. Horlait, durée : 1996, financement : 150KF (INRIA et DGA)

Le but de ce contrat est la mise à disposition du monde de la recherche d'une souche de protocoles IP version 6 sur laquelle puissent être menées des expérimentations d'applications multi-media sur réseaux à haut débit.

Contrats industriels

ALCATEL

Responsable scientifique : E. Horlait, durée 10/94 - 10/97, financement : 90 KF
Suivi technique du développement d'applications multi-media utilisant la structure MHEG.

ALCATEL

Responsable scientifique : E. Horlait, durée 10/95 - 12/96, financement : 90 KF
Développement d'un support applicatif pour applications multi-media avec garantie de service.

DRET

Responsable scientifique : S. Fdida, durée : 12/95 - 4/97, financement : 205 KF
Simulation parallèle du routage dans un réseau ATM
Nous explorons les gains en performance que peuvent apporter des solutions de simulation parallèle pour analyser des réseaux ATM de grande dimension (plusieurs centaines de commutateurs).

PHILIPS

Responsable scientifique : Y. Dallery, durée : 10/96 - 09/99, financement : 150 KF

L'étude porte sur la modélisation et l'évaluation de performances d'algorithmes d'admission d'appels et de routage dans des réseaux ATM à qualités de services multiples

DCN (Direction des Constructions Navales)

Responsable scientifique : K. Thai, durée : 11/96 - 12/97, financement : 188 KF

Suivi des travaux de l'ATM Forum

Il s'agit d'assurer un suivi technique des différentes évolutions des normes édictées par l'ATM Forum.

ALCATEL

Responsable scientifique : E. Horlait, durée : 3/97 - 3/00, financement : 9 200 KF

Action de coopération stratégique sur la gestion d'environnements multi-media pour réseaux à hauts débits. Axes principaux : garantie de service sur réseaux IP, applications et gestion de groupes, réalité virtuelle.

Contrats internationaux

MOD-FLEX-PRO (BRITE-EURAM)

Responsable scientifique : Y. Dallery, durée : 1997-2000, financement : 1 500 KF

L'objectif du projet est le développement et la validation d'une nouvelle architecture de systèmes de production alliant productivité et flexibilité.

Partenaires : Machining Centres Manufacturing (MCM), Lajous Industries, Politecnico di Torino, MAPAL.

MATCH (Human Capital and Mobility)

(Commun avec le thème Systèmes Répartis et Coopératifs)

Responsable scientifique : Y. Dallery, durée : 1994-1998, financement : 420 KF

L'objectif du projet est le développement de méthodes de vérification et d'évaluation pour des systèmes complexes intégrant des paramètres de temps. Notre contribution porte essentiellement sur les techniques d'évaluation de performances, en particulier les méthodes exactes exploitant les symétries du système et les méthodes approximatives utilisant la décomposition du modèle.

Partenaires : Universités d'Eindhoven, Hambourg, Turin, Vienne, Saragosse. Coopération à l'intérieur du LIP6 avec le thème Systèmes Coopératifs.

CNRS-NRC : Managing Mobile Multimedia Agents

Responsable scientifique : E. Horlait, durée : 1998-2001, financement : 1 500 KF

Ce projet se propose de joindre les efforts des équipes du LIP6 et de l'Université d'Ottawa pour développer un modèle d'agents mobiles permettant de structurer des applications multimédia à qualité de service prédictible et garantie.

Visiteur étranger

– Karmouch Ahmed, Université d'Ottawa, (juin 97)

Systemes Répartis et Coopératifs

Estraillier Pascal

Barril Patrick
Cheminaud Marc
Darche Philippe
Folliot Bertil
Gervais Marie-Pierre
Girault Claude
Ilié Jean-Michel
Kordon Fabrice
Le Roch Marie-France
Nowak Gérard
Poitrenaud Denis (1)
Sens Pierre

Professeur, UPMC
Chargé de Recherches, CNRS
Maître de Conférences, UPMC
Maître de Conférences, Univ. Paris 5
Maître de Conférences, Univ. Paris 7
Maître de Conférences, Univ. Paris 5
Professeur, UPMC
Maître de Conférences, Univ. Paris 5
Maître de Conférences, UPMC
Maître de Conférences, UPMC
Maître de Conférences, UPMC
Maître de Conférences, Univ. Paris 5
Maître de Conférences, UPMC

ITA-IATOS

Bonnaire Xavier
Card Rémy (2)
Costes Brigitte
Mounier Jean-Luc (2)
Narboni Jacqueline

Ingénieur d'Etudes, CNRS
Ingénieur de Recherche, UPMC
Secrétaire, UPMC
Ingénieur d'Etudes, UPMC
Secrétaire, UPMC

Personnel temporaire

Diagne Alioune (2)
Vernier Isabelle
Pavot-Adet Emmanuel (2)

ATER, UPMC
Post-Doc, contrat DRET/UPMC
Post-Doc, contrat CNET/UPMC

Doctorants présents 80% du temps au LIP6

Ajami Khalil (Ilié, 95)
Benalycherif M.-Lyes (Girault, 92)
Bezerra Arrantes Luciana (Folliot, 96)
Bretelle Bruno (Folliot, 95)
Cadinot Philippe (Sens, 96)
Commelin Eric (Darche, 94)

Dauchez Jean-François (Gervais, 97)
Haj Mahmoud Yanal (Folliot, 92)
Lesot Jean-Philippe (Rifflet, 95)
Tebibel Thouraya (Estraillier, 95)
Tnazefti Insaf (Estraillier, 95)
Saab-Boutros Céline (Folliot, 97)

Doctorants présents moins de 80% du temps au LIP6

El Kaim William (Kordon, 93)
Mével Franck (Card, 95)

Prun Daniel (Barril, 93)

Associés au LIP6

Bari Moncef, Chercheur, Université Montréal - laboratoire CRIM
Boufaïda Mahmoud, Université de Constantine (Algérie)
Rifflet Jean-Marie, Université Paris 7
Popentiu Florin, City University Londres

(1) Au 1er septembre 1997

(2) Pour une partie de leur temps

L'interconnexion généralisée des sites de calcul, l'apparition de réseaux à hauts débits, ainsi que l'évolution des technologies réparties tirant pleinement profit de la distribution et du parallélisme potentiel, ont permis d'envisager de réelles applications distribuées coopératives. Elles offrent une large palette de services : travail coopératif, espace multi-média partagé, commerce électronique ...

Supportées par un environnement d'exécution réparti, les applications coopératives peuvent être vues comme un ensemble de composantes, dont certaines ont un comportement autonome. Ces composantes coopèrent pour atteindre un objectif commun. Elles sont principalement caractérisées par la nature des interactions qu'elles ont entre elles, la dynamique des comportements associés et la prise en compte de leur environnement.

Par hypothèse, nous considérerons que les applications étudiées sont soumises à des contraintes de qualité. De telles applications justifient nos travaux sur la validation et la vérification. On peut ainsi éprouver leur comportement lorsque les composantes de l'application sont soumises à des interactions multiples.

Problématique de recherche

La conception des applications coopératives est rendue délicate de par la nature même des systèmes répartis, qui induit l'indéterminisme de l'exécution, l'hétérogénéité des systèmes supports, l'absence de temps global et de mémoire commune, etc. De plus, les applications coopératives posent des problèmes particuliers tels que la gestion de l'environnement d'exécution variable ou la mise en œuvre de comportements adaptatifs. En effet, distribuées d'un point de vue traitements et données, la localisation de ses composants doit être gérée de manière implicite par les systèmes sous-jacents. En outre, lors de l'exécution, il faut doter ces systèmes de mécanismes de placement dynamique et de tolérance aux fautes afin d'optimiser les ressources, d'améliorer les performances ou de satisfaire les besoins applicatifs.

Ces caractéristiques requièrent une problématique de recherche spécifique car elles entraînent de nombreuses difficultés liées d'une part à la mise en œuvre de la dynamique de l'exécution et du contrôle dans un environnement distribué et, d'autre part, à la maîtrise d'un nombre important d'interactions potentiellement complexes. De plus, la conception et la mise en œuvre de telles applications posent des problèmes difficiles d'ingénierie, principalement centrés sur la conception, la réutilisation et l'intégration de composants logiciels préfabriqués.

Projet scientifique

En se focalisant sur l'aspect *contrôle*, nos recherches concernent essentiellement le point de vue *système* des applications distribuées et coopératives. Elles portent sur la **spécification**, la **validation**, la **vérification formelle** et la réalisation par **codage** et **prototypage** de ces systèmes, avec pour objectifs leur correction, leur efficacité et la maîtrise de leur développement. Ces recherches sont concrétisées par la conception et la réalisation d'environnements logiciels adaptés à la conception d'applications coopératives.

Les méthodes formelles permettent de s'assurer de la qualité des applications réalisées. Adaptés à la vérification des systèmes, les réseaux de Petri constituent notre formalisme

pivot. La vérification formelle des propriétés repose sur les techniques structurelles classiques mais aussi sur des méthodes de vérification de formules de logique temporelle.

Nos recherches couvrent un spectre large allant de la conception jusqu'à la mise en œuvre opérationnelle des systèmes répartis et coopératifs. Cette amplitude se justifie par la nécessité d'assurer la cohérence de points de vue multiples. Pour chaque point de vue, nous pouvons dégager des objectifs de recherche constituant le prolongement des recherches actuelles :

- Point de vue **Réalisation et Prototypage** : il s'agit de définir les mécanismes associés à une plate-forme d'exécution de telles applications. En particulier notre but est de proposer des solutions pertinentes prenant en compte des problèmes techniques posés par l'environnement d'exécution tels que la répartition de charge (placement de tâches, migration, gestion des références), les modes de communication, la sécurité, la synchronisation et la tolérance aux fautes. Par exemple, nous étudions la mise en œuvre de nouvelles stratégies de placement afin d'améliorer la performance des applications parallèles communicantes au-dessus d'une mémoire partagée répartie. Nous visons également à intégrer les caractéristiques des nouvelles architectures (réseaux haut-débit, multiréseaux, ...). Le code sera programmé directement pour les composants très proches du système d'exploitation et pourra être engendré, après spécification, par des composants plus évolués.
- Point de vue **Spécification et Vérification formelle** : à partir des mécanismes identifiés dans le point de vue précédent, en fonction de leurs contraintes de réalisation, notre but est de proposer des gabarits de conception adaptés. Cette proposition respectera les recommandations issues des travaux de normalisation (ODP, CORBA, ...). Nous avons choisi de définir des composants génériques munis de leur contexte d'interaction. Les spécifications obtenues doivent pouvoir être validées par simulation et vérifiées par une approche formelle. L'objectif est de maîtriser la complexité et l'explosion induites par la taille des problèmes traités afin d'assurer la possibilité d'un changement d'échelle indispensable, aussi bien au niveau de la représentation de ces objets que de leur traitement par les outils. Une difficulté à surmonter sera d'exprimer les propriétés recherchées et de gérer la traçabilité entre les différents niveaux de spécification. Nos investigations porteront, de manière complémentaire, sur les techniques de spécifications formelles et le «model-checking», en observant les avancées des travaux sur les démonstrations automatiques. Nous développerons nos recherches sur les méthodes formelles de vérification modulaire.
- Point de vue **Outils** : les outils sont indispensables pour valider les théories, les mécanismes ou les méthodes proposés. Notre but est de rendre ces outils suffisamment efficaces et faciles d'utilisation pour traiter les problèmes réels auxquels nous sommes confrontés dans le cadre des projets dans lesquels nous sommes impliqués.

Approche

Nous souhaitons dynamiser, autour d'un projet scientifique recentré, l'ensemble des membres de l'équipe, en particulier ceux qui s'impliquent de manière privilégiée dans l'enseignement.

Recentrage des recherches vers un domaine d'application bien délimité

Compte-tenu du nombre de problèmes à résoudre, nous avons délibérément restreint le cadre de nos études en nous concentrant sur l'aspect «contrôle» des systèmes coopératifs.

Notre problématique est alors motivée (et supportée) par les différentes applications industrielles des projets dans lesquels nous sommes impliqués (cf. § suivants).

Nous avons en effet délibérément choisi d'orienter nos recherches à partir d'une problématique spécifique de nature applicative, dans le souci de dégager les hypothèses réalistes et d'identifier les mécanismes rendus nécessaires par les applications coopératives. Naturellement, nous développons les aspects génériques des résultats obtenus.

Intégration des différents point de vue de recherche

Par nature, notre contribution est d'ordre **théorique** pour aborder les aspects d'*algorithmique distribuée* et de *vérification formelle*. Elle est de nature **méthodologique** pour les aspects *génie logiciel* et *architecture système*. Elle relève enfin de la **programmation système** pour la mise en œuvre effective.

Ces différents points de vue, s'ils permettent d'identifier certaines problématiques spécifiques, engendrent une séparation qui est cependant très artificielle. En effet, au quotidien de notre recherche, nous sommes sans cesse confrontés aux inévitables interactions multiples entre ces points de vue.

On pourrait dire, par exemple, qu'un mécanisme de partage de charge doit être motivé par un besoin d'ordre applicatif. Il est pertinent s'il correspond à une solution implémentable et efficace, mais dans la limite de notre faculté à le spécifier et à en vérifier formellement la correction.

Il est donc important, et nous y veillerons, d'aborder ces problématiques d'une manière plus globale, sans les disjoindre, en intégrant de manière transversale les résultats obtenus. Une conséquence directe est d'éviter l'émiettement en limitant le nombre de projets entrepris qui, de fait, sont pris en charge par un nombre significatif de chercheurs.

Politique de partenariat (recherche & industrie)

L'amplitude des domaines couverts pour aborder la problématique des systèmes répartis et coopératifs rend nécessaire l'existence d'une politique dynamique de partenariat. Il n'est en effet pas réaliste de vouloir tout traiter au sein d'un même thème. Cette politique de partenariat existe déjà, elle sera renforcée au niveau national et international.

D'un point de vue international, les collaborations établies dans le cadre de nos projets européens et le séjour sabbatique de C. Girault à l'université Rice de Houston constituent de solides points d'appui. Au niveau national, le thème avait un bon niveau d'intégration dans plusieurs PRC/GDR sur les domaines des systèmes et de la vérification. Cette implication devrait être amplifiée dans les nouvelles structures d'animation en cours de définition. De manière complémentaire, nous sommes très attachés à développer nos recherches pour une problématique issue de contextes industriels (projets du CNET, ONERA-Cert/Sextant, EDF, Alcatel et Matra).

De plus, nous commençons déjà à obtenir les premiers résultats de nos interactions avec d'autres thèmes du laboratoire. Sur la problématique des **agents mobiles**, un partenariat effectif existe déjà avec le thème OASIS (*Objets et Agents pour Systèmes d'Information et de Simulation*) du LIP6 qui prend en charge la problématique plutôt liée à l'intelligence artificielle. Sur la **spécification** et **vérification modulaire** (structuration en composants, composition et preuves associées), depuis un an, des contacts ont été établis avec le thème SPP (*Sémantique, Preuve et Implantation*) et avec le thème ANP (*Algorithmique Numérique et Parallélisme*). Ce dernier lien va se renforcer sur la problématique de l'**optimisation du placement de composants logiciels sur des ressources matérielles**. Sur l'architecture de

systèmes, pour la problématique de **gestion dynamique du placement**, l'équipe est impliquée dans le projet de machine MPC du thème ASIM (*Architecture, Systèmes Intégrés, et Microélectronique*).

Bilan synthétique des recherches

Cette section décrit globalement notre contribution tandis que la suivante présentera de manière plus précise différentes contributions.

Réalisation du support système

En fonction des problèmes techniques posés par l'environnement d'exécution, nous proposons des algorithmes de contrôle réparti fondés sur des schémas d'interaction et des composants de contrôle pour la coordination, l'organisation et la coopération. Le placement et la migration des tâches sont dynamiques en fonction de la charge, des défaillances du site d'exécution et du comportement des applications. Cette gestion est transparente aux usagers par l'utilisation d'un modèle de description de réseaux et d'algorithmes de placement privilégiant de manière flexible différents critères. L'efficacité est assurée en affinant les méthodes d'acquisition des informations de charge ou de recherche de serveurs sous-chargés. Les réseaux à haut-débit remettent en cause les mécanismes de bases des systèmes d'exploitation en modifiant les temps d'accès. Par exemple, un mécanisme de va-et-vient réparti, avec une mémoire secondaire constituée de l'ensemble des mémoires vives des machines libres, est beaucoup plus efficace qu'un mécanisme de va-et-vient local sur disque. La réalisation d'un tel système à travers la réécriture d'un module externe de gestion mémoire est en cours. De même, le faible coût de la migration permet d'envisager des politiques visant à équilibrer la charge entre les machines. Des paradigmes de plus haut niveau, comme la mémoire partagée répartie, influencent également les stratégies d'allocation de tâches car il faut alors associer le placement de programmes avec celui des données. Plusieurs travaux sont en cours de réalisation pour offrir aux applications réparties un support de mémoire partagée efficace.

D'un point de vue système, ces algorithmes sont adaptés aux nouvelles techniques, comme celles liées aux «agents mobiles». Ces aspects sont gérés tant d'un point de vue statique (structurel) que d'un point de vue dynamique (opérationnel). Pour supporter l'exécution des applications coopératives, des recherches avancées sur l'environnement système sont entreprises. Elles concernent les problèmes liés au placement hybride (sur des environnements parallèles et répartis) et hétérogène (sur des systèmes et réseaux différents). Nous avons développé le *modèle des territoires* qui découple la gestion de l'exécution des applications de celui de la gestion des ressources. Ainsi chaque type de ressource peut avoir son propre algorithme de répartition de charge, et chaque application peut avoir son propre algorithme de placement dynamique. Il s'agit donc d'une contribution qui va plus loin que les travaux les plus récents visant à la conception d'algorithmes de placement hiérarchique ou à la construction de systèmes hiérarchiques.

Spécification modulaire, simulation et prototypage

Il est nécessaire de prendre en compte les contraintes d'implantation, les caractéristiques d'interaction entre composantes et les contraintes d'exécution des applications coopératives réparties. Nous proposons une méthode uniforme pour passer d'une spécification aux implantations, en facilitant l'indépendance d'une plate-forme par rapport aux logiciels produits en assurant leur interopérabilité. Il s'agit de définir des gabarits de conception permettant la mise en œuvre méthodique de ces structures et leur validation dans des

applications coopératives. Nous gérons, pour ce faire, un niveau de traçabilité nous permettant d'avoir des interprétations exécutables, exprimables en termes de comportements et de processus. Nous avons ainsi spécifié des interactions selon le modèle client/serveur et constitué un catalogue de gabarits adaptés à la problématique de la tolérance aux fautes.

Le formalisme et la méthode de spécification associée ont été développés pour la conception modulaire par objets des systèmes. Notre méthode est basée sur la représentation formelle modulaire et hiérarchique des composants du système et de leurs relations. Nous avons défini un *modèle de composant* basé-objet conforme aux principes de base du modèle de référence des traitements répartis ouverts (ODP). Ce modèle de composant permet en outre d'exprimer les aspects liés au contrôle dans les systèmes répartis de manière consistante pour des activités de vérification et de validation mais aussi de prototypage. Il est basé sur des descriptions d'objets possédant de plus un mode de fonctionnement décrit par réseaux de Petri. Le *modèle de composant* est mis en correspondance de manière formelle avec un modèle de réseaux de Petri coloré modulaire.

Plus que tout autre type d'applications, les applications coopératives nécessitent une approche expérimentale du type simulation, qui étend largement le prototypage au sens du génie logiciel. De telles simulations sont nécessaires, par exemple, pour détecter les comportements émergents. Nous proposons un modèle formel de l'exécution et de l'observation (exécutions équivalentes, équivalences observationnelles, causalité et diagnostic, ...) et des outils d'observation supportant une validation par simulation.

A partir du *modèle de composant*, notre méthode de prototypage permet la génération de programmes répartis de manière transparente sur un ensemble de machines Unix connectées en réseaux, l'approche étant potentiellement applicable aux architectures hybrides (réseaux de mono et multi-processeurs). Le langage de programmation choisi pour élaborer un prototype de générateur de code est Ada. Les communications entre tâches Ada s'appuient soit sur le support d'exécution (communications locales) soit sur un protocole de rendez-vous distant réalisé via un serveur de messages (communications entre sites distants). Des études sont en cours pour exploiter la structure d'une application ainsi définie afin de proposer des directives de placement de ses composantes sur une architecture particulière. Le placement des entités des prototypes répartis sera effectué à partir de la configuration engendrée par l'outil de placement.

Vérification formelle

Sur une approche compositionnelle de réseaux de Petri, nous avons défini des algorithmes de vérification des principales propriétés de contrôle dans une approche d'évaluation de modèle («model checking»).

Nous travaillons sur la composition de modèles et des propriétés associées. L'idée est de spécifier un système complexe au moyen d'éléments de bibliothèques (les modules), conçus et vérifiés indépendamment. À tout module est associée une spécification contingente affirmant que ce module satisfait une propriété s'il est plongé dans un environnement garantissant le respect de certaines contraintes concernant les mécanismes de communications. Notre approche consiste à formaliser des spécifications compositionnelles, prenant ainsi en compte l'environnement et permettant la vérification statique partielle des modules.

Pour l'expression des propriétés comportementales, nous utilisons un langage basé sur la logique temporelle (LTL, CTL,...) et intégrant le concept de paramétrage. Nous proposons des méthodes de vérification de systèmes concurrents basées sur des abstractions de l'espace d'états. Le but de ces méthodes est de ne représenter que les informations pertinentes vis-à-

vis des propriétés à vérifier. L'approche brutale par construction exhaustive de l'espace d'états conduit dans les cas réels à une explosion combinatoire du nombre d'états.

Dans un premier temps, nous procédons à des vérifications modulaires. La vérification d'une propriété est modulaire sur la base d'un système compositionnel quand la vérification sur le modèle final se déduit au moins partiellement à partir des vérifications sur les composantes du système. La technique utilisée consiste à abstraire la description des modèles avant de les composer pour obtenir le système final. Notre idée est de prendre davantage en compte les mécanismes de communication des systèmes pour obtenir des méthodes compositionnelles plus efficaces.

Parallèlement, deux techniques complémentaires sont réalisées en définissant des constructeurs de graphes réduits permettant la vérification de formules de logique temporelle à temps linéaire à partir de spécifications données. Elles sont adaptées aux réseaux de Petri et exploitent la structure de ceux-ci pour la réduction du graphe. La première repose sur une détection de comportements symétriques et la seconde sur une détection de comportements indépendants. Ces approches sont orthogonales et peuvent donc se combiner pour augmenter le facteur de réduction. Concernant l'étude de systèmes paramétrés, nous avons adapté les algorithmes classiques de vérification de formules de logique temporelle pour tenir compte uniquement de la connaissance partielle du dimensionnement du système.

Outils développés

Pour expérimenter effectivement nos résultats, nous développons des environnements logiciels d'expérimentation :

- La plate-forme système **GatoStar** offre des services de placement de programme, de migration et de tolérance aux fautes, destinés à supporter l'exécution des applications coopératives fonctionnant en environnement réparti. GatoStar a été réalisé dans un réseau local (Ethernet) au-dessus d'Unix Sun (Sun-OS), HP (HP-UX), PC (Linux, FreeBSD)
- Notre plate-forme d'accueil **FrameKit** sert de support au développement rapide d'environnements logiciels manipulant des formalismes graphiques et hiérarchiques. Elle répond à un objectif de simplicité dans l'installation, la maintenance et l'intégration de formalismes et d'outils. FrameKit est une plate-forme multi-utilisateurs qui intègre des mécanismes de diffusion originaux en «kit» élémentaires permettant une installation «à la carte» sur un site cible.
- L'environnement logiciel **CPN-AMI** est dédié à la théorie des réseaux de Petri colorés. Il supporte la spécification, la validation, la vérification formelle et le prototypage conforme d'applications coopératives. Ses outils permettent de vérifier des formules de logique temporelle (model checking), de calculer des propriétés structurelles (invariants, verrous, trappes, etc.), de simuler, déboguer et d'engendrer du code. Les services qu'il offre sont réalisés par des outils développés dans l'équipe ou provenant de partenaires universitaires (Univ. technologique d'Helsinki, Univ. de Turin, Univ. Technologique de Munich, Bell laboratories,). La seconde génération de CPN-AMI, construite sur la plate-forme FrameKit est disponible sur Internet depuis mars 1997.
- **Macao** est un éditeur de graphes générique. Utilisé comme frontal de la plate-forme FrameKit et, par conséquent, utilisé dans CPN-AMI, Macao offre une interface utilisateur conviviale d'accès aux outils développés sous Unix. La version Macintosh est disponible sur Internet depuis 1994 ; une version sous Sun/Solaris est en bêta-test.

- Le générateur de moteurs de transformations **MetaScribe** facilite la production automatique de code. La transformation est assurée à partir du formalisme source, d'un patron sémantique (spécifiant les manipulations à effectuer sur un modèle du formalisme source pour obtenir un modèle ayant la sémantique du formalisme cible), et d'un patron syntaxique (spécifiant le sucre syntaxique à appliquer à une représentation sémantique du formalisme cible). **MetaScribe** a pour objectif de faciliter la construction de générateurs de programmes. Une version expérimentale de cet outil est disponible sur demande.

Collaborations

Un des moyens d'évaluer la contribution de l'équipe réside dans les collaborations qu'elle entretient. Il ne s'agit naturellement pas d'une liste exhaustive.

Au niveau national, l'équipe est largement impliquée dans différents PRC/GDR actuels : *Construction de Systèmes d'Exploitation* et *Algorithmique des Systèmes Coopératifs* (CNRS/Groupe de Recherche - Parallélisme Réseaux et Systèmes). Nous participons aussi aux travaux du groupe *Collecticiels* (pôle multimodalité du PRC-GDR *Communication Homme-Machine*). L'équipe est impliquée de manière significative dans les nouveaux PRC/GDR «Architecture, Réseaux & Systèmes, Parallélisme», les thèmes «Systèmes et Applications Répartis» et «Algorithmique, Langage et Programmation (ALP)»

De plus, l'équipe est intégrée dans le projet FORMA (CNRS, DGA et MENESR). Ce projet, animé par J. Sifakis, regroupe une partie significative de la communauté de vérification formelle.

Enfin, nous avons débuté en novembre 1997 le projet ODAC qui s'inscrit dans le cadre du projet CNRS du programme Télécommunications. L'objectif est de définir des méthodes et outils basés sur une approche formelle pour qu'un concepteur de services de télécommunications puisse spécifier et mettre en œuvre un nouveau service sous la forme d'un système multi-agents.

Depuis de nombreuses années, impliquée dans de lourds projets européens à finalité industrielle (par exemple le projet Eureka IRENA, fini en octobre 95, financement 6.8 MF), l'équipe se tourne maintenant davantage vers des partenariats industriels plus légers, avec un niveau d'interaction industrielle davantage maîtrisable. Un des premiers projets dans ce sens a été le projet CARISMA (CTI du CNET/France Télécom, jusqu'en janvier 1999 avec le LIRMM de Montpellier et le thème *OASIS*). La problématique est celle de la conception et de la validation d'applications coopératives avec une garantie fonctionnelle de qualité de service. Un contrat de sous-traitance avec l'ONERA traite de la spécification modulaire et de vérification formelle de logiciels embarqués - l'étude de cas «grandeur nature» traitée provient de la société SEXTANT Avionique. Cette étude se déroule dans le cadre du projet FORMA/VAMOS

Au plan international, les travaux portant sur les aspects théoriques des réseaux de Petri colorés et méthodologiques de la modélisation font l'objet du projet européen MATCH (programme Capital Humain et Mobilité). Ce projet a débuté en Octobre 94 (durée de 3 ans + 6 mois) et associe l'équipe aux universités de Hambourg, Vienne, Turin, Gènes, Eindhoven et Saragosse, en collaboration avec le thème *Réseaux et Performances*.

Les travaux sur l'écriture de systèmes répartis font l'objet d'un projet ALFA (PARNET Parallel Network 97) qui réunit les université de Mexico, Saragosse, Barcelone, Edimbourg et Paris et d'un projet franco-japonais JSPS qui est soutenu par le ministère des affaires étrangères. Ces deux projets vont se prolonger encore 2 ans.

En collaboration avec EDF, nous participons à l'ISO à l'élaboration d'une norme concernant les démarches de conception et développement d'applications réparties. Ce projet constitue un prolongement à notre participation au groupe de normalisation ODP.

Enfin, en 96-98, C.Girault a travaillé à Rice University sur les systèmes basés sur des algorithmes de cohérence faible de mémoires distribuées partagées. Ces systèmes simplifient la programmation parallèle et exploitent efficacement des réseaux d'ordinateurs pour des applications parallèles. La littérature abonde en propositions de protocoles mais ceux-ci nécessitent des vérifications. Déjà des erreurs ont pu être détectées en modélisant un protocole pourtant très classique.

Seize thèses et deux habilitations ont été soutenues. Depuis, quatre docteurs sont en poste dans l'enseignement supérieur ou dans un établissement de recherche. Les autres sont insérés dans le monde industriel.

Bilan détaillé des recherches

Conception formelle de services de télécommunication selon le paradigme agent.

M.P. GERVAIS, J.F. DAUCHEZ, A. DIAGNE, P. BARRIL, F. KORDON, E. PAVIOT ADET, I. VERNIER, I. TNAZEFTI, T. TEBIBEL, P. ESTRAILLIER

La construction des applications réparties ouvertes est un problème difficile, étant donnée la complexité des environnements dans lesquelles elles sont exécutées. Le domaine des télécommunications est un cadre applicatif illustrant pleinement la difficulté du problème. Un système de télécommunication est un système réparti complexe du fait de sa portée géographique étendue, de sa grande hétérogénéité tant matérielle que logicielle, de sa dimension temps-réel ou encore de sa contrainte forte de fonctionnement continu. Les applications qu'il supporte (appelées services) doivent répondre à des exigences de qualité de service telles la disponibilité, la fiabilité, la sûreté de fonctionnement ou le coût. La construction d'applications réparties ouvertes dans un tel contexte doit alors intégrer l'ensemble de ces caractéristiques et contraintes.

L'objectif des travaux est de définir des méthodes et outils fondés sur une approche formelle pour qu'un concepteur de services de télécommunication puisse spécifier et mettre en œuvre un nouveau service sous la forme d'un système multi-agents. Nous visons à compléter les approches actuelles utilisées par les industriels du secteur des télécommunications par l'utilisation du paradigme agent. Celui-ci apporte différents atouts pour la mise en œuvre de nouveaux services de télécommunication tels la flexibilité, la richesse des interactions ou encore la mobilité. Il permet de considérer la mise en œuvre d'un service de télécommunication comme un système multi-agents, ce qui offre un meilleur support pour la distribution du contrôle et de la gestion dans les systèmes de télécommunication. Cependant, ce paradigme manque d'appui formel pour être pleinement efficace. Aussi nous lui adjoignons l'utilisation des méthodes formelles qui apportent les outils théoriques nécessaires pour supporter la preuve. La difficulté est alors d'intégrer des approches et concepts issus de domaines distincts, tels le génie logiciel pour les aspects de modélisation et de preuve formelle, l'intelligence artificielle pour les aspects agent, l'informatique répartie à objets pour les aspects architecturaux, et de les appliquer au domaine des télécommunications en tenant compte de ses contraintes.

Pour réaliser notre objectif, nous prenons en compte les éléments suivants :

- la métaphore agent considérée est la transposition au monde informatique de la notion d'agent dans la vie courante. Ainsi un agent est une entité logicielle exhibant les caractéristiques de personnalisation, de délégation, de suivi de contrat et de combinaison de services ;
- la norme de traitement réparti ouvert (ODP), développée conjointement par l'ISO et l'ITU-T, fournit un modèle de référence qui définit un cadre architectural pour la construction de systèmes et applications répartis ;
- notre formalisme de haut niveau OF-Class (décrit dans la thèse d'A. Diagne) définit un modèle de composant de système réparti. Il permet de valider des composants décrits dans un langage de spécification par traduction automatique en réseaux de Petri colorés. Ces derniers permettent d'étudier rigoureusement les schémas de contrôle du parallélisme intrinsèque à un système multi-agents. On peut alors vérifier la sûreté et la fiabilité dans une démarche incrémentielle et en tirant profit de la modularité des composants pour éviter l'explosion combinatoire.

Notre approche vise à définir un formalisme qui permette l'expression de la spécification d'un service de télécommunication selon différents niveaux d'abstraction reflétant les points de vue ODP et correspondant aux différentes étapes du cycle de vie. En effet, bien qu'ODP définisse un cadre architectural et ne soit pas une méthode, il est cependant possible d'établir un parallèle entre les points de vue ODP et les étapes du cycle de vie d'une application. Nous utilisons ce type d'association dans notre démarche pour définir un modèle de spécification conforme à l'architecture ODP, qui inclut des gabarits d'interaction et qui supporte la vérification formelle. La correspondance d'un tel modèle avec des modèles à objets résultant de l'utilisation de méthodes d'analyse et de conception par objets telles UML ou Classe-Relation est étudiée. Les différents niveaux d'abstraction des spécifications d'un service sont mis en relation à travers des règles de correspondance qui sont en cours d'élaboration. Ces dernières permettent d'identifier comment l'expression des éléments d'une spécification d'un niveau donné se retrouve à travers celle des éléments d'une spécification d'un autre niveau. La cohérence entre les différentes spécifications d'un même service est alors garantie. Le modèle sera supporté par un environnement opérationnel de conception formelle de systèmes multi-agents. Celui-ci fournira des outils de conception qui permettront à un concepteur de spécifier un service par identification et instantiation des gabarits d'interaction et par leur composition. Il offrira également des outils de preuve permettant au concepteur de valider et vérifier sa spécification. La méthodologie de validation et de vérification sera fondée sur l'utilisation de notre modèle OF-Class.

L'intérêt de la contribution est d'enrichir le paradigme agent, issu de l'intelligence artificielle distribuée, d'une dimension formelle, et de le rapprocher de la problématique des télécommunications en matière de conception de services, en intégrant les contraintes opérationnelles de ce secteur. Cette adaptation des concepts agent au contexte de l'ingénierie des services entraîne l'identification de nouveaux gabarits de conception et de modèle d'interactions conformes à ODP, norme sur laquelle les futures architectures de télécommunication sont fondées. Prouver formellement ces gabarits permet de garantir leur qualité.

Équilibrage de charge, migration et tolérance aux fautes.

B. FOLLIOT, P. SENS, L. BEZERRA ARANTES, B. BRETTELE, PH. CADINOT,
Y. HAJ MAHMOUND, J.P. LESOT, F. MEVEL, C. GIRAULT

Un service d'équilibrage de charge permet aux applications réparties de bénéficier pleinement de la puissance de calcul disponible, et principalement des machines inactives. En effet, dans les réseaux de stations de travail, les processeurs sont inutilisés de 33% à 90%

du temps. Une étude réalisée dans un des réseaux locaux de l'Université Paris VI (18 stations de travail SUN) sur une période de six mois, montre que les stations sont libres et les processeurs inutilisés, respectivement 69% et 93% du temps.

La répartition des processus d'applications parallèles en fonction de la charge des machines permet de réduire les temps de réponse et d'améliorer l'utilisation globale des ressources. Nous considérons des applications à longue durée de vie composées d'un ensemble de processus communiquant. Ce modèle couvre un large spectre d'applications scientifiques, comme la factorisation des grands nombres, la conception VLSI ou encore le traitement d'image. Cependant, l'exécution d'applications en environnement réparti est très sensible aux fautes du système. En effet, la défaillance d'une machine peut entraîner la perte des calculs effectués et/ou une incohérence dans les résultats produits. Ainsi, il est essentiel de fournir, intégrée à la répartition de charge, une gestion des fautes.

Nous avons exploré le domaine du placement pour des réseaux de stations de travail (projet GatoStar). Nous poursuivons ces études pour les architectures informatiques modernes : multi-réseaux, réseaux à haut débit, et en particulier avec un modèle de programmation basé sur la mémoire partagée répartie.

Récemment, en collaboration avec le projet Système à Objets Répartis de l'INRIA-Rocquencourt, nous étudions un environnement d'exécution extensible dynamiquement et multi-langage (le projet Machine Virtuelle Virtuelle).

Problématique

La problématique du placement en environnement réparti consiste à mettre à profit les possibilités d'accès à des ressources distantes (en particulier les processeurs) afin de les utiliser «au mieux» de manière *transparente*. Les objectifs recherchés sont multiples : accès à des ressources spécifiques, diminution des communications sur le réseau, tolérance aux fautes..., mais le plus couramment poursuivi est *l'amélioration des performances globales du système et des applications*.

Le problème du placement est en général abordé dans le contexte suivant : (i) les entités à placer (ou déplacer) sont des processus ; (ii) les informations a priori sur les processus sont nulles (ou très grossières) ; (iii) le critère de performance est le temps de réponse moyen. Les algorithmes proposés dans la littérature pour le placement de processus peuvent être décomposés en différentes composantes : *indicateurs de charge, politique de transfert, politique d'information, politique de localisation*. De plus, le placement lui-même peut être *préemptif* (un processus peut changer de site au cours de son exécution) ou *non-préemptif* (les sites sont assignés aux processus au moment de leur création).

Avec le développement d'applications utilisant un grand nombre de nœuds, la probabilité de défaillance devient importante et il est vital que les systèmes répartis modernes intègrent des mécanismes de gestion des défaillances. La redondance intrinsèque des systèmes répartis les rend potentiellement très sûrs, cependant la répartition des ressources génère de sérieux problèmes tels que le manque de connaissance de l'état global, la possibilité de défaillance partielle et la réalisation de plusieurs opérations concurrentes. Un des problèmes majeurs est que les techniques de tolérance aux fautes sont coûteuses et augmentent significativement les temps de réponse des applications. La répartition des processus permet de réduire ce surcoût et d'améliorer l'utilisation globale du système.

Projet GatoStar

Peu d'équipes ont exploité la voie de recherche associant les problématiques de **placement** et de **tolérance aux fautes**. Dans la plupart des cas, la tolérance aux fautes n'est vue que

comme une simple extension du système de placement (ou vice et versa). On peut citer notamment le système Paralex développé à l'université de Bologne.

Nous avons conçu GatoStar : une plate-forme permettant de développer des applications réparties robustes et néanmoins performantes, en combinant des techniques de placement dynamique et de tolérance aux fautes. Le gestionnaire de placement répartit automatiquement les applications parallèles sur un ensemble de sites hétérogènes. Des algorithmes multi-critères prennent en compte la charge des machines et le comportement des applications : temps processeur, capacité mémoire, volume des communications et des accès aux fichiers. Le gestionnaire de tolérance aux fautes reprend automatiquement les processus après la défaillance de machines. Il utilise des points de reprise incrémentiels et une journalisation des messages. Des algorithmes de migration multi-critères permettent de réagir en cas de fortes variations d'utilisation des ressources. GatoStar fournit un support complet et cohérent pour l'exécution d'applications parallèles à longue durée de vie. GatoStar est maintenant opérationnel sur des réseaux locaux de stations de travail.

Recherches actuelles

Nos recherches actuelles visent d'une part à étendre nos algorithmes à de nouvelles architectures telles que les réseaux à haut débit et les réseaux à large échelle, et d'autre part à adapter les stratégies de placement à d'autres paradigmes notamment les mémoires partagées réparties.

De façon à pouvoir faire évoluer GatoStar en améliorant les heuristiques de placement, nous avons défini un modèle à base de files d'attente. L'originalité de cette approche est d'affiner le modèle en le rapprochant le plus possible des résultats réels mesurés dans GatoStar. Une fois le modèle affiné, les algorithmes peuvent être modifiés directement dans le modèle. Il est également possible de définir d'autres environnements (multi-réseaux, réseaux hybrides composés de machines parallèles et de stations de travail, réseaux à haut débit ...). La dernière étape consiste à intégrer les algorithmes les plus pertinents du modèle dans GatoStar.

Nous étudions aussi l'association de la migration et de la réplication dynamique afin d'augmenter les performances. Au niveau langage, nous introduisons des mécanismes pour décrire la sémantique des dépendances entre les objets composant l'application. Ces indications sont ensuite utilisées par un gestionnaire de cohérence pour réduire le coût du maintien de la cohérence des copies d'un objet. La réplication est utilisée pour améliorer la tolérance aux fautes. Pour la migration, nous étudions des heuristiques adaptées à la répartition d'un nombre variable de copies. Un premier prototype est en cours d'implantation au-dessus du système Chorus.

Nous travaillons également à l'intégration de stratégies de placement dans les mémoires partagées réparties. Le paradigme de mémoire partagée répartie permet de décharger les programmeurs d'application de la localisation des données. Un premier objectif est d'améliorer les performances des applications parallèles communicantes par mémoire partagée répartie au-dessus d'un réseau local de stations de travail. Nous utilisons la combinaison du placement de processus et du placement de données pour l'amélioration de la localité. Nous avons adapté le concept d'affinité qui permet de caractériser les forces qui lient les programmes aux différentes stations (affinités processeur, mémoire et communication). Une première implantation est en cours sur le système Millipede au dessus d'un réseau Ethernet à 100Mb/s. Un autre objectif est d'utiliser le placement de données pour exploiter au mieux la localité des applications dans le cadre de mémoire partagée répartie sur plusieurs réseaux. Dans ce contexte, il est très coûteux d'accéder à des données situées sur des réseaux distants et il est important de fournir des stratégies de placement

efficaces. Une première implantation est en cours. Elle vise à définir une version multi-réseaux du système de mémoire partagée répartie TreadMarks.

Dans le cadre des réseaux à haut débit, nous étudions aussi de nouvelles stratégies de swap en mémoire distante. Ce projet, baptisé Maïs, s'insère dans le projet MPC de l'équipe ASIM. Un premier prototype sur FreeBSD a montré l'efficacité de notre approche.

Le placement sur un grand nombre de nœuds pose de nouveaux problèmes. Si de nombreuses solutions ont été étudiées pour les réseaux locaux, très peu sont extensibles aux grands réseaux. La prise en compte notamment de l'hétérogénéité est une caractéristique importante qui fait défaut. Nous avons proposé un nouveau modèle, les *territoires d'exécution*, focalisant la gestion autour des applications. Chacune des applications régule entre ses processus l'utilisation des ressources qu'elle a acquises et rentre en compétition avec les autres applications pour acquérir des nouvelles ressources. Deux applications ont été développées, l'une pour une machine massivement parallèle et l'autre pour un réseau de robots mobiles autonomes.

Nous étudions également l'adaptation des algorithmes de tolérance aux fautes aux réseaux à large échelle. Ces réseaux permettent l'accès à un grand nombre de ressources. Cependant, leurs caractéristiques en terme de débits variables, de taux de fautes élevé, de temps de latence, impliquent la conception de nouveaux algorithmes de tolérance aux fautes. En effet, les hypothèses sur les délais de transmission bornés, qui étaient appropriées pour les réseaux locaux, ne sont plus applicables. Nous travaillons sur la conception et la mise en œuvre de nouveaux algorithmes de tolérance aux fautes pour les réseaux à large échelle. Ces algorithmes reposent sur les *suspecteurs de fautes* de Chandra et Toueg qui permettent de traiter le problème de fausses détections. La tolérance aux fautes s'applique pour un modèle client/serveur et intervient à deux niveaux : sur les requêtes et sur les serveurs. Des mécanismes à base de points de reprise coordonnés assurent l'acheminement de ces requêtes aux serveurs. Les serveurs sont répliqués pour tolérer les fautes et augmenter la disponibilité du service. Les algorithmes seront mis en œuvre par un ensemble d'agents mobiles coopérants. Les agents permettent d'exploiter au mieux les potentialités des grands réseaux. La mobilité en environnement hétérogène leur permet de s'adapter aux changements dynamiques fréquents dans ce type de réseau. Ces travaux sont liés au placement de requêtes où l'on détermine le site le plus approprié en terme de distance et de disponibilité.

Machine Virtuelle Virtuelle

Enfin, en relation avec l'équipe SOR de l'INRIA, nous étudions un support d'exécution pour les machines virtuelles. Le projet proposé vise à unifier les environnements d'exécution virtuelle, au moyen d'une Machine Virtuelle Virtuelle (MVV). A la différence d'une machine virtuelle «classique», la MVV est capable d'étendre à la volée son jeu d'instructions de manière à s'adapter dynamiquement à de nouveaux types d'applications. Cette approche de MVV présente les avantages suivants : 1) elle n'impose pas un langage d'exécution unique, mais permet d'exécuter simultanément des applications écrites dans différents langages ; 2) la représentation interne des objets manipulés par la MVV étant neutre du point de vue de l'application, il n'y a pas de limite à l'interopérabilité entre les différents langages qui s'exécutent ; 3) les techniques de recompilation dynamique et de réorganisation de bytecode sont incluses dans la MVV. Ainsi, les performances ne devraient pas être dégradées par rapport à une machine virtuelle «classique», tout en diminuant la difficulté de programmation. L'approche MVV a déjà été prototypée dans le projet SOR et donne d'excellents résultats.

Structuration, placement et exécution de composants logiciels.

W. EL KAIM, F. KORDON, B. FOLLIOU, P. SENS, C. GIRAULT, P. ESTRAILLIER

Une fois un système parallèle spécifié, son implémentation reste difficile et coûteuse. La spécification peut être mal interprétée et des choix d'implémentation peuvent changer le comportement du système. Le prototypage permet de valider les spécifications formelles du modèle, de produire automatiquement un programme exécutable, de maîtriser le cycle de vie du logiciel, d'offrir un gain de temps sensible en développement et mise au point du logiciel.

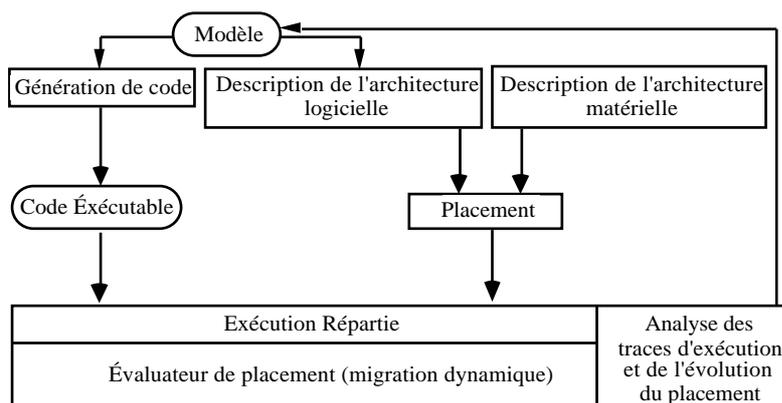
Parfois l'utilisateur impose des contraintes de localisation des objets sur les machines cibles, mais souvent il souhaite au contraire une exécution la plus rapide possible en laissant le placement à la charge du prototypeur. Il est alors intéressant d'exploiter au mieux la puissance disponible sur le réseau dont on dispose. Cependant, il faut veiller à ce que les changements de performance n'altèrent pas les propriétés du système.

Les réseaux actuels sont composés d'une grande diversité de machines (mono ou multi-processeurs) qui rendent la répartition difficile. La description statique du logiciel et du matériel contribuent indéniablement à une amélioration de la qualité du code généré et des performances à l'exécution. Depuis, une branche nouvelle dans le domaine du prototypage s'est créée et étend ce concept pour prendre en compte des niveaux très fins (Hardware-Software Co-design).

Nous présentons une méthode pour calculer automatiquement le grain de parallélisme nécessaire à un placement dynamique efficace d'un prototype sur une architecture de machines hybrides. La description de l'architecture matérielle cible et de l'architecture logicielle servent au calcul du placement.

La description de l'architecture matérielle, support de l'exécution répartie, est donc nécessaire. Pour représenter des réseaux de machines hybrides, nous avons créé un langage capable de gérer deux niveaux de hiérarchie. Ainsi, il est possible de spécifier l'aspect gros grain (machine mono-processeur) ou grain fin (machine multi-processeurs) d'une machine du réseau informatique. Le prototype, quant à lui, est décomposé virtuellement en entités parallèles communicantes. Nous introduisons alors une gestion dynamique de la granularité des entités parallèles pour adapter le placement en fonction des évolutions de charge des machines du réseau. Les primitives de placement et de migration ne sont pas incluses dans le code source, mais dans une table de placement. Cette table est utilisée durant l'exécution répartie par le prototype. Le placement sera alors statique ou dynamique selon les capacités du répartiteur de charge utilisable par le prototype.

La description des entités parallèles est faite dans un langage hiérarchique. Les différents regroupements ou séparations d'entités parallèles sont mises à jour dynamiquement. L'historique des modifications sert de base à l'analyse des traces d'exécution.



Cycle de développement d'une application.

Nous avons défini une méthode de gestion de bibliothèques d'architectures décrivant différents réseaux ou types de machines.

La notion de machine virtuelle est utilisée pour s'abstraire du matériel dans le domaine des systèmes d'exploitation. Nous introduisons la notion de logiciel virtuel pour nous abstraire des problèmes d'implémentation et de granularité. Ainsi, une application répartie est un ensemble de composants logiciels virtuels distribués communicants. Ces composants sont des regroupements d'entités parallèles nécessaires à l'obtention d'un grain de parallélisme adapté à une exécution répartie sur une architecture matérielle donnée.

Notre méthode est basée sur la distinction de niveaux de granularité. Ainsi, l'exécution répartie d'un prototype est réalisée soit par équilibrage de charge, soit par équilibrage d'application.

- **L'équilibrage de charge** consiste à placer les programmes parallèles sur des processeurs différents dans le but unique d'optimiser le débit global du réseau. Ceci réduit également les durées d'exécution des applications. Les critères de placement utilisés sont en général la charge des processeurs, la mémoire disponible, la place disque, la quantité d'espace d'échange disque. Le grain de parallélisme est du niveau programme.
- **L'équilibrage d'application** est utilisé pour placer des entités parallèles sur des machines en respectant avant tout l'architecture répartie des spécifications.

Le placement sera statique ou dynamique selon les capacités du répartiteur de charge utilisable par le prototype. Le placement dynamique repose sur notre *modèle des Territoires*.

Les problèmes de placement de programmes et de fichiers dans un système réparti sont difficiles (NP-complets). Nous utilisons donc des solutions approchées pour regrouper les composants logiciels et obtenir un niveau de granularité suffisant pour le placement. Nos travaux sont actuellement centrés sur la validation et l'amélioration de cet algorithme. L'évaluation des performances d'exécution passe par la recherche de critères de la qualité de service. La qualité de service s'évalue par rapport à un «contrat d'exécution» passé implicitement entre le concepteur d'applications qui impose des contraintes et le générateur de code ou le répartiteur de charges qui tentent de les respecter. La collecte de traces de l'exécution répartie permet de créer automatiquement, après analyse, un rapport d'exécution. Ce rapport permettra d'aider l'utilisateur à améliorer ses spécifications initiales en fonction des contraintes qu'il impose.

Ce projet est ambitieux car il unifie au sein d'une même méthode et de mêmes langages de description, la répartition de charge et d'application. Des extensions futures telles que la migration et le recalcul dynamique du placement sont à envisager.

Applications coopératives.

P. BARRIL, D. PRUN, M.P. GERVAIS, PH. DARCHE, E. COMMELIN, P. ESTRAILLIER

Les applications informatiques actuelles sont exécutées dans des environnements de plus en plus complexes (répartis, parfois dynamiques, multi-utilisateurs...). Leur développement nécessite une programmation fragmentée (extensions enfichables, modules chargés dynamiquement, médiateurs systèmes). La validation et la vérification d'un tel système de composants est plus difficile que celles d'une application monolithique.

Les applications coopératives au sens strict concernent les collecticiels, c'est-à-dire le travail coopératif assisté par ordinateur. La coopération humaine est caractérisée par l'affectation dynamique des tâches, le partage d'informations (données ou buts), l'interaction (mutuelle ou de groupe), la prise de décision mutuelle (négociation) ou collective. D'autre part, une application coopérative comporte plusieurs fils de contrôle qu'il faut coordonner et sa conception est donc très différente de la rétro-conception distribuée d'une application centralisée.

La principale caractéristique de ces applications est leur «conscience» de certains aspects de leur environnement d'exécution habituellement cachés. Les collecticiels, par exemple, requièrent qu'un utilisateur soit conscient des activités des autres utilisateurs. Nous sommes donc à l'opposé des architectures transactionnelles pour les bases de données réparties. De même, les plates-formes fondées sur CORBA/ODP ou LotusNotes paraissent inadaptées dans la mesure où elles masquent respectivement la répartition et les accès concurrents.

Aussi nous généralisons la notion d'applications coopératives à celles qui prennent en compte leur environnement d'exécution. Elles reposent sur des plates-formes réparties offrant des services tels que : appel d'offres, placement dynamique, migration ou mobilité, tolérance aux fautes. Une application coopérative utilise les informations de son environnement d'exécution pour exploiter pleinement les services de la plate-forme.

Conception et architectures

La conception et la maintenance d'une application coopérative sont complexes à tout niveau d'abstraction: avant d'attribuer une fonctionnalité, il faut choisir entre une structure partagée/répliquée, un contrôle statique ou dynamique et un placement fixe ou mobile. Par rapport à un noyau fonctionnel centralisé, il faut se préoccuper :

- du contrôle des accès partagés et/ou de la consistance des accès répliqués,
- des synchronisations ou des contraintes temps réel,
- des communications et de la sécurité des accès,
- de la répartition (placement, migration) et de l'allocation de ressources,
- de la détection et de la tolérance aux fautes,
- des interfaces utilisateurs,
- des interfaces avec des bases de connaissances et des moteurs d'inférences.

Un point important de la démarche de conception est de découpler ces préoccupations afin de faciliter la mise au point et la maintenance. C'est pourquoi le logiciel est structuré en couches permettant un traitement abstrait de ces facettes techniques à l'aide de squelettes d'interaction et de gabarits de conception. Un **squelette d'interaction** («Framework») est défini par des composants abstraits et des protocoles de collaboration. Les composants

assemblés dans un squelette doivent être indépendants pour le raffinement : le squelette garantit l'interopérabilité et la réutilisabilité de leurs implantations. Un **gabarit de conception** («Design Pattern») ajoute des informations méthodologiques sur les compromis lors de la conception d'un squelette traitant une facette technique, dans un cas d'usage précis.

Pour les objets séquentiels, la méthode par **Classes-Responsabilités-Collaborateurs** conduit à des gabarits représentés par des graphes de collaboration. La notion de responsabilité respecte l'encapsulation en évitant de gérer un flot de données et un flot de contrôle. Elle s'étend aux systèmes concurrents, pour lesquels les trois points de vue «**Production-Coordination-Communication**» du trèfle du collecticiel d'Ellis se substituent à la paire «données-traitements». Cette approche méthodologique est développée dans la thèse de D.Prun.

Par rapport à des architectures dédiées à des piles de protocoles comme **Conduit+** ou **Bast**, la séparation implique de coordonner les facettes techniques qui s'exécutent en parallèle à l'intérieur d'une même couche. D'autre part, l'environnement d'exécution est pris en compte. Par exemple, pour le placement d'applications et l'équilibrage de charges, le travail de W. El Kaïm permet de gérer la communication entre une application et la plate-forme avec plusieurs niveaux de granularité.

Modèles de l'environnement d'exécution

Une spécification de programme relie un modèle formel d'un programme et son exécution dans un environnement particulier. Le modèle de cet environnement d'exécution est de nature sémantique et beaucoup moins formel que celui correspondant au programme. Pour les systèmes distribués, l'absence d'horloge globale, l'incertitude sur les délais de transmission et sur les temps de traitement, sans oublier les défaillances possibles, conduisent à des modèles d'exécution complexes.

Aussi plutôt que de représenter des exécutions, notre approche repose sur l'observation et la modélisation de l'environnement comme contexte de contrôle. Les algorithmes basés sur des estampilles et des horloges virtuelles entrent dans ce cadre. La difficulté pour des applications coopératives est de choisir une représentation de l'environnement qui permette des synchronisations, sans inhiber ni le parallélisme ni les comportements dynamiques.

D'autre part, la validation par «model checking» repose sur des exécutions globales d'un système complet. Elle est mal adaptée à la représentation de l'environnement comme contexte de contrôle ou à une conception par composants. Les formalismes usuels doivent être complétés pour permettre des spécifications contingentes inspirées de celles utilisées dans le domaine des systèmes réactifs : un agent n'est censé avoir un comportement correct que s'il est plongé dans un environnement correct.

Formalismes

Ces spécifications ont la forme d'une paire hypothèse-garantie affirmant que l'agent satisfait la propriété P s'il s'exécute en parallèle avec un environnement qui vérifie la propriété E .

$E \quad + \quad P$, dans la plupart des sémantiques (CSP, TLA), signifie que l'agent ne peut violer sa garantie avant que l'environnement n'assure plus l'hypothèse. C'est une formule plus forte mais assez voisine de l'implication usuelle. Un principe de composition permet de combiner des spécifications de cette forme, tout en éliminant (les logiciens disent en déchargeant) leurs hypothèses ; la règle exprime que la composition parallèle d'un groupe d'agents satisfait la conjonction de leurs garanties individuelles dans un environnement convenable. Cet environnement convenable assure à chaque agent, d'une part, les hypothèses résiduelles sur l'environnement externe qui ne se déduisent pas des garanties mutuelles dans le groupe,

d'autre part un contexte d'interaction interdisant les interblocages et divergences. Son expression est plus simple si l'on se limite à des propriétés de sûreté, c'est-à-dire dont la violation est observable à un instant précis ; elle est plus compliquée s'il faut prendre en compte des propriétés d'équité.

On peut simplifier encore et se ramener au cas de deux agents, sans autre environnement :

Si $(E \wedge P) \wedge (P \wedge E)$ alors $E \wedge P$ affirme que si deux agents satisfont respectivement les spécifications exprimées en prémisse, le système obtenu en les exécutant en parallèle vérifie la propriété E et la propriété P . Cette forme du principe de composition est clairement auto-référentielle. En fait, si l'on définit le co-agent comme l'environnement minimal permettant le fonctionnement d'un agent, une spécification complète revient à définir simultanément un agent et son co-agent de manière un peu semblable à une récursivité mutuelle. Le principe se ramène même à une forme unaire, qui éclaire les rapports entre le co-agent obtenu en permutant l'hypothèse et la garantie dans la spécification et l'environnement minimal où l'agent fonctionne :

$$\text{Si } E' \wedge (P \wedge E) \text{ alors } (E \wedge P) \wedge (E' \wedge P).$$

Dans le cas général, la preuve du principe de composition est une induction causale : on se ramène à des propriétés de sûreté mais il faut deviner une hypothèse auxiliaire exprimant un invariant. Ces assertions auxiliaires font apparaître un contexte d'interaction, de portée limitée dans l'environnement, et dont l'évolution est un processus (en général, non séquentiel) de coordination des agents composés.

De même que l'on peut éviter les preuves par induction de la terminaison de programmes séquentiels récursifs par des transformations de dépliage/repliage, l'approche actuelle est d'éviter les preuves de vivacité par des transformations de décomposition/recomposition sur un squelette d'interaction. Les responsabilités d'une classe d'agent correspondent à la garantie tandis que les hypothèses sur l'environnement sont réparties entre les collaborateurs et l'environnement global. Il est alors naturel de représenter une collaboration par une classe, dont les instances sont responsables de la coordination des différents collaborateurs. Les phénomènes dynamiques comme l'instanciation, l'attribution de buts à la volée ou la mobilité sont traités à l'aide d'exceptions, de programmation par instance et de squelettes d'interactions dédiés.

Programmation

Les programmes concurrents utilisent encore souvent directement les services bas niveau du système d'exploitation, ce qui rend leur écriture très complexe pour le programmeur. Une alternative est d'utiliser des couches d'adaptation avec le système (**middleware**) et leurs interfaces de programmation. Nous considérons des objets répartis partagés par plusieurs fils d'activités, plus précisément de machines virtuelles (**Java**) communiquant à travers un mécanisme d'objets mandataires (*Remote Method Invocation*). La gestion et l'ordonnancement des fils de contrôle (*threads*) dépend de l'implantation de la machine virtuelle sur un plate-forme particulière. Aussi leur synchronisation doit reposer sur des notions conceptuelles de producteurs-consommateurs ou de garde causale afin d'assurer la portabilité du code et de ne pas inhiber sa mobilité. C'est dans ce cadre que nous avons entrepris d'adapter des outils d'observation et des primitives de diffusions sélectives, en utilisant une approche réflexive.

L'implantation de la réflexivité pour les langages de classes repose sur la notion de méta-objet, permettant de contrôler les accès à l'interface de l'objet sous-jacent. Cependant, la fameuse anomalie d'héritage qui traduit le divorce entre le partage de structure et le partage de synchronisation, de même que le partage par plusieurs fils d'activités, nécessitent de mieux concevoir les méta-objets. Dans le cadre où nous nous plaçons, la réflexivité vise

non seulement à réifier un méta-agent mais surtout à réifier et organiser les interactions avec son co-agent. Java permet d'inspecter et d'invoquer dynamiquement l'interface d'un objet. L'architecture de composants **JavaBean** est fondée sur cette «réflexivité de communication». La synchronisation des fils d'activités repose sur un mécanisme étendu de moniteurs réentrants et nous avons entrepris le développement d'une «réflexivité de coordination» permettant d'inspecter et de contrôler ces structures.

Pour traiter des comportements dynamiques, nous proposons une troisième forme de réflexivité destinée à réifier l'environnement des classes chargées par une machine virtuelle et leurs instanciations. La provenance d'un fichier de classe est utilisée pour définir les droits de ses instances, ce contexte de chargement permet de réfléchir sur les politiques de sécurité. D'autre part l'encapsulation enchassée (classes internes), très utile pour créer des protocoles embarqués avec des objets, définit des portées lexicales dont l'inspection relève de cette forme de réflexivité. Son implantation semble difficile avec les versions actuelles de Java. Cependant nous expérimentons avec le conteneur de référence de Sun, la «**BeanBox**», pour lequel nous maîtrisons complètement les chargeurs de composants et leurs caches.

Notre modèle de programmation par objets actifs réflexifs est adapté aux besoins des applications coopératives et des applications à base d'agents mobiles. D'une part, les objets-acteurs permettent une gestion de la concurrence compatible avec la modularité, d'autre part, la réflexivité permet l'adaptation des comportements. En effet, les composants doivent adapter leur comportement et leur sémantiques de communication aux modifications de leur environnement, par exemple, afin de fonctionner en mode dégradé en cas de faute ou ajuster les communications aux fluctuations d'accessibilité des ressources.

Vérification & logique temporelle.

J.M. ILIÉ, D. POITRENAUD, I. VERNIER, E. PAVIOT ADET, K. AJAMI,
M.L. BENALYCHERIF, A. DIAGNE, C. GIRAULT

L'un des moyens élégants d'exprimer formellement le comportement d'un système est d'exprimer les propriétés sous forme d'un ensemble de formules de logique temporelle. La construction effective du système nécessite alors de représenter les états ou des séquences d'états qui valident ces formules. Cette construction se heurte à un problème d'explosion combinatoire en espace et en temps, sans cesse reposé pour toute modification de la spécification initiale. Nous étudions ce problème suivant trois directions :

- conception modulaire du modèle,
- abstraction des modules,
- abstraction des espaces d'états.

Conception modulaire du modèle

Cette conception provient d'une étude des propriétés qualifiant la spécification du système et de leur couplage. En collaboration avec le CERT/DTIM, nous avons défini un formalisme modulaire à partir des OF-Class définis au LIP6 et des modules Moka définis au CERT. Ce formalisme permet de représenter non seulement les composantes du système mais aussi l'aspect fonctionnel de leur comportement et l'architecture de leurs communications. La spécification en modules traduit un couplage fonctionnel entre différentes parties de la spécification tandis que la duplication des modules et des liens de communications permet de représenter des mécanismes de tolérance aux fautes dans le cadre d'une hypothèse d'environnement hostile. La sémantique de cette spécification est celle des réseaux de Petri colorés. La description des comportements associés aux modules apparaît sous forme déclarative-objet au travers de définitions de variables et de propriétés. La plateforme

CPN_AMI que nous avons développée traduit automatiquement les modules OF-Class en réseaux de Petri, ce qui permet d'appliquer les méthodes de vérification définies pour ces derniers tout en les adaptant au traitement de spécifications modulaires.

Abstraction de la description modulaire

L'expérience montre que les spécifications étudiées peuvent avoir des variables en grand nombre avec des domaines de valeurs grands. La combinatoire induite n'est pas supportable par les outils informatiques de vérification: même l'étude d'un module isolé peut poser problème. C'est pourquoi, nous réduisons la spécification modulaire par une abstraction des domaines des valeurs et par une optimisation de la gestion des variables. Dans un premier temps, la technique utilisée est analogue à celle exploitée par les procédures de test unitaire pour préparer les jeux de tests significatifs : pour chaque module, cela consiste à analyser les instructions effectuées sur les variables afin de déterminer des seuils et donc des valeurs intermédiaires à tester. La réduction de la combinatoire provient de la modification des instructions en fonction de leur dépendance, avec la politique suivante: initialisations des variables aux valeurs par défaut, affectations de nouvelles valeurs faites le plus tard possible et réinitialisations faites le plus tôt possible. L'automatisation de cette technique d'abstraction est remise à de prochains travaux mais l'expérience a montré sa faisabilité.

Les vérifications sur la spécification sont de deux ordres, suivant que la propriété est locale à un module ou concerne plusieurs modules.

- Concernant les propriétés locales à un module, il s'agit de tester les blocages internes ou encore de tester le module sur un jeu-test d'entrées. L'environnement du module est modélisé par un ensemble de variables libres représentant les messages attendus et les données partagées. Cette approche est possible quand l'environnement est non bloquant pour le module à tester. Chaque fois qu'une information est attendue elle est considérée comme reçue. Enfin, les émissions de messages et les modifications de données partagées n'étant pas bloquantes, elles peuvent être ignorées.

- Concernant les propriétés qui impliquent tout ou partie de l'ensemble des modules, elles sont vérifiées sur la composition des modules, mais auparavant chaque module subit une abstraction en ne conservant que les instructions ayant une influence sur les communications et les valeurs de vérité de la propriété à vérifier. La détection de l'absence de blocage dynamique est un cas particulier de propriétés globales mettant en jeu tous les modules.

Abstraction des espaces d'états

La vérification de propriétés globales sur des systèmes concurrents nécessite des techniques automatisant le parcours de l'espace d'états du système modélisé. Nous utilisons la théorie récente des automates de vérification (automates de Büchi,..) pour réaliser des vérifications au vol. Cette méthode construit l'espace d'états au fur et à mesure des besoins induits par l'automate de vérification d'une propriété. La complexité restant liée à la taille de l'espace d'états, nous proposons deux techniques originales d'abstraction de l'espace d'états qui permettent de réduire considérablement la mémoire utilisée: la détection d'indépendance dans le parallélisme des événements provoquant les changements d'états et la détection de symétries dans les systèmes à composantes symétriques ou partiellement symétriques, comme par exemple les systèmes à tolérance aux fautes. L'orthogonalité des deux approches permet d'envisager leur combinaison pour augmenter encore le facteur de réduction de la mémoire.

La notion de concurrence définit un ordre partiel sur les événements. Cet ordre peut être déterminé structurellement dans les réseaux de Petri et a déjà été exploité par différentes

méthodes de vérification pour limiter l'explosion combinatoire. Parmi celles-ci, les dépliages de McMillan ont permis la vérification de propriétés de sûreté par une représentation explicite de l'ordre partiel sous la forme d'un réseau de Petri appelé processus arborescent. Les processus arborescents appartiennent à une classe de réseaux de Petri (les réseaux d'occurrences) pour lesquels la vérification de propriétés simples telles que l'accessibilité locale d'un processus est rendue très efficace. Des résultats récents ont montré l'intérêt de l'utilisation des processus arborescents pour la vérification de propriétés de sûreté. La méthode de vérification que nous proposons repose aussi sur une représentation explicite de cet ordre, mais permet la vérification de formules de logique temporelle linéaire. Le graphe que nous construisons est constitué de nœuds, chacun regroupant un ensemble d'états accessibles adjacents du système considéré. L'originalité de notre approche réside dans le fait que chacun de ces ensembles est représenté par un processus arborescent. En effet, la définition de graphes de processus arborescents nous assure que tous les états du système original sont représentés et que sa connexité préserve tous les comportements possibles du système. Nous proposons des algorithmes permettant la construction de ces graphes. Ces algorithmes reposent sur la construction de processus arborescents d'un système, algorithme de faible complexité. Une version générique de l'algorithme de construction a été définie. Nous avons ensuite étudié différentes instanciations de cet algorithme pour évaluer la pertinence de différentes heuristiques. Enfin, nous avons montré comment vérifier des propriétés d'un système à partir d'un graphe de processus arborescents lui correspondant. Les propriétés de sûreté simples peuvent être vérifiées de manière très efficace en tirant partie de la structure simple des réseaux d'occurrences composant les nœuds du graphe. D'autre part, les propriétés de sûreté générales peuvent être ramenées à un test d'accessibilité local à un processus particulier ajouté au système original. Le graphe de processus arborescents se prête particulièrement bien à cette méthode de vérification. Enfin, nous avons montré que les graphes de processus arborescents permettent la vérification de propriétés de logique temporelle linéaire invariantes face au bégaiement. Un prototype permettant la construction de graphes de processus arborescents et la détection des états bloquants d'un système a déjà été réalisé. Les réseaux de Petri pris en compte par ce logiciel sont des réseaux sains (une place ne peut contenir qu'au plus un jeton). Cette caractéristique simplifie les algorithmes mis en place et donc leur optimisation. Les mesures que nous avons réalisées ont permis le traitement de modèles dépassant 10^{100} états.

Pour les systèmes symétriques, nous agrégeons l'espace d'états sous une forme symbolique où les objets représentés sont des classes d'équivalence d'états ou de changement d'états. Dans notre approche nous commençons par analyser l'automate de Büchi modélisant les séquences valides vis à vis d'une propriété LTL à vérifier. Nous déterminons l'ensemble des symétries entre les états de l'automate en considérant que deux états sont symétriques s'ils induisent le même comportement courant et futur à une permutation près. De la même façon nous détectons, dans le modèle représentant le système, les symétries du modèle en considérant que deux états sont symétriques s'ils sont égaux à une permutation près, à calculer en fonction des valeurs courantes des variables du système. En appliquant ces relations sur le produit synchronisé de l'automate de la formule et de l'espace d'états qui modélise le système, nous construisons une structure quotient au vol sur laquelle les séquences invalidant l'automate de la formule sont détectées. Contrairement à l'approche d'Emerson, nous préférons définir des ensembles de symétries sur la formule qui ne sont pas nécessairement des groupes. Notre but est de définir et d'utiliser des ensembles plus grossiers afin d'obtenir une compression optimale de la représentation de l'espace d'états. De plus, nous remplaçons la notion d'espace quotient par celle d'espace consistant chaque fois que la détection de symétries doit être réalisée en temps linéaire. Bien que le produit synchronisé résultant puisse être d'une taille accrue par rapport à la structure quotient, nous prouvons qu'il possède les mêmes capacités de vérification et trouvons qu'il réalise dans la plupart des cas pratiques des réductions exponentielles. Enfin à la différence des travaux de

Jensen qui nécessitent de définir parfois manuellement les relations de symétries puis de vérifier leur consistance, notre approche est complètement automatisée à partir de la description en réseaux de Petri colorés obtenue de la description modulaire en OF-Class. L'automatisation complète à partir de la spécification modulaire est définie et en cours d'implantation.

Plate-forme et outils de spécification

F. KORDON, J.L. MOUNIER, D. POITRENAUD, I. VERNIER, E. PAVIOT ADET, A. DIAGNE, J.M. ILIÉ, S. BENDALI

Notre équipe développe une plate-forme adaptée à la construction rapide d'environnements de génie logiciel pour supporter nos outils de spécification. L'objectif est de pouvoir prototyper des environnements de génie logiciel expérimentaux, c'est-à-dire intégrer rapidement de nouvelles contributions afin de tester leur pertinence dans un cadre méthodologique. Sur la base de cette plate-forme, nous avons outillé notre méthode de spécification et prototypage.

Plate-Forme

Un premier résultat de ce travail était la plate-forme AMI, sur laquelle nous avons construit CPN-AMI 1.x. Cette version de plate-forme ainsi que notre participation au projet européen IRENA qui portait sur la norme ECMA-NIST, nous ont permis d'obtenir un savoir-faire opérationnel sur ces problèmes. Depuis 1995, nous travaillons sur FrameKit, la seconde génération de plate-forme logicielle. Cette nouvelle version intègre de nouvelles contraintes comme :

- des mécanismes d'administration complets en vue de faciliter l'installation et la gestion des entités de la plate-forme (en particulier par nos partenaires),
- des mécanismes d'intégration accrus permettant des intégrations rapides et faciles d'outils en vue de leur évaluation dans un contexte méthodologique particulier,
- des bibliothèques de fonctions permettant de faciliter à la fois le développement et la maintenance de nombreuses applications,
- d'une interface utilisateur capable de gérer des formalismes hiérarchiques définis de manière externe.

Nous envisageons à terme de développer l'environnement de base en l'enrichissant par des fonctions supplémentaires :

- la gestion de standards secondaires permettant de définir des formats de représentation normalisés pour un formalisme donné afin de permettre le partage d'informations entre plusieurs outils. Pour cela, nous utiliserons les techniques développées dans l'outil *MetaScribe* afin de définir ces formats standards, l'outil en lui-même pouvant permettre de construire des traducteurs d'un format vers un autre;
- la mise en place d'un environnement permettant le développement rapide de simulateurs. Le créateur d'un nouveau simulateur n'aura à développer que les règles d'évolution de son formalisme.

Outils intégrés

Cette nouvelle version de la plate-forme nous a permis d'intégrer rapidement dans l'environnement CPN-AMI 2.x de nouveaux formalismes, de les évaluer et de les raffiner avant de continuer tout développement.

CPN-AMI 2.x intègre trois formalismes : les réseaux de Petri et deux formalismes de haut niveau dédiés, l'un à la vérification, l'autre au prototypage. Les outils suivants sont proposés :

- une interface graphique adaptée à la manipulation des réseaux de Petri et de nos formalismes de haut niveau,
- des outils de vérification de cohérences syntaxiques des modèles pour les réseaux de Petri et nos formalismes de haut niveau,
- des outils permettant de synthétiser des réseaux de Petri colorés à partir des formalismes de haut niveau,
- un outil de dépliage de réseaux de Petri colorés en réseaux de Petri ordinaires,
- des outils permettant de calculer des propriétés structurelles sur les réseaux de Petri (invariants, détection d'interblocage...),
- des outils de vérification de modèle (model checking) et de construction de graphes de marquages (graphes ordinaires ou symboliques),
- un simulateur/débogueur de réseaux de Petri colorés.

Certains de ces outils ont été développés par notre équipe. Les autres proviennent de partenaires universitaires (par exemple, l'Université technologique d'Helsinki, l'Université Technologique de Munich ou les Laboratoires Bell).

Nous continuons à travailler au développement et à l'intégration d'outils de vérification, de simulateurs pour les formalismes de haut niveau ainsi que des générateurs de code depuis le formalisme de haut niveau dédié au prototypage.

Publications

Livres (2)

Card R, Dumas E, Mevel F: "Programmation Linux 2.0 (API système et fonctionnement du noyau)", Eyrolles, 1997.

Znaty S, Gervais M-P: "Les réseaux intelligents : ingénierie des services de télécommunication", Ed. Hermès, 1997.

Publications parues dans des revues, notoriété importante (3)

Gervais M-P, Diagne A: "Enhancing Telecommunication Service Engineering with Mobile Agent Technology and Formal Methods", à paraître : IEEE Communications Magazine, July 1998.

Haddad S, Ilié J-M, Taghelit M, Dutheillet C: "Contribution des réseaux de Petri de haut-niveau à la validation d'un réseau de communication haut-débit", Techniques et Sciences Informatiques, 1997.

Sens P, Folliot B: "The STAR Fault Manager for Distributed Environments", à paraître : Software Practice and Experience, 1998.

Publications parues dans des revues, notoriété courante (2)

Boufaïda M: "What Courseware Dedicated to Computer Science ?", SIGCSE Bulletin, vol 28, n° 4, pp 8-14, 1996.

Folliot B: "Introduction du numéro thématique placement dynamique et répartition de charge", *Calculateurs Parallèles*, vol 8, n° 1, pp 7-10, 1996.

Publications parues dans des actes de congrès ou des ouvrages de synthèse, notoriété importante (30)

Ajami K, Haddad S, Ilié J-M: "Exploiting Symmetry in Linear Time Temporal Logic Model Checking", *Proceedings of the European Conference on Theory and Practice of Software*, Lisbon, Portugal, LNCS vol 1384, Springer Verlag, pp 52-67, March 1998.

Bari M: "Using ROOM for Designing Embedded Real-Time Systems", 10th IEEE Real Time Conference, Beaune, France, pp 483-487, 1997.

Barkaoui K, Ilié J-M, Maizi Y: "High Level Formalism for an Efficient Interpretation of Deductive Databases", 4th Maghrebian Conference on Software Engineering and Artificial Intelligence, Alger, Algeria, April 1996.

Benalycherif L, Girault C: "Behavioural and Structural Composition Rules Preserving Liveness By Synchronization for Coloured Fifo Nets", *Proceedings of the 16th International Conference on Applications and Theory of Petri Nets, ICATPN*, Osaka, Japan, pp 73-92, 1996.

Bonnaire X, Prun D: "Flexible Distributed Replay in a Message Server Networks Environnement", *Proceedings of the ISCA 9th International Conference on Parallel and Distributed Computing Systems*, pp88-93, Dijon, France, September 25-27, 1996.

Castiel S, El Kaïm W : "Interoperability and Performance of an Object Distributed Application Based on Corba", *Proceedings of the International Conference On principles of Distributed Systems*, Chantilly, France, December 1997.

Commelin E: "Des Objets Actifs pour la Programmation des Systèmes Embarqués et Mobiles", *Revue Electronique sur les Reseaux et l'informatique Répartie*, March 1997.

Couvreur J-M, Poitrenaud D: "Model Checking based on Occurrence Net Graph", *Proceedings of the 9th International Conference on Formal Description Techniques for Distributed Systems and Communication Protocols, FORTE/PSTV*, Chapman & Hall, Kaiserslauter, Germany, pp 380-396, 1996.

Darche P, Raverdy P-G, Commelin E: "ActNet: The Actor Model Applied to Mobile Environments", *Object-Based Parallel and Distributed Computation*, LNCS vol 1107, Springer Verlag, 1996.

Diagne A, Estrailier P, Gervais M-P, Vernier I: "Formal Design of Telecommunication Systems", *Proceedings of the Object-Based Parallel and Distributed Computation France-Japan Workshop*, Toulouse, France, October 1997.

Diagne A, Ilié J-M, Moldt D: "Integration of Semi-Formal and Formal Approaches", 11th Conference on Object-Oriented Programming, ECOOP, Jyväskylä, Finland, LNCS vol 1357, Springer Verlag, 1997.

Diagne A, Kordon F: "A multi formalisms prototyping approach from formal description to implementation of distributed systems", *Proceedings of the 7th IEEE International Workshop on Rapid System Prototyping*, Saloniki, Greece, 1996.

Diagne A, Moldt D, Ilié J-M: "Verification and Validation Techniques to Use UML for the specification of Reactive Systems", *Hawaiian International Conference on System Sciences*, Hawaii, 1998.

Estrailier P, Kordon F: "Structuration of large scale Petri nets : an association with higher level formalisms for the design of multi-agent systems", *Proceedings of the International Conference on Systems, Man and Cybernetics Information, Intelligence ans Systems*, IEEE, Beijing, China, 1996.

- Folliot B, Raverdy P-G:** "Adaptative Partitionning and Dynamic Allocation for Large Computing Systems", Proceedings of the International Conference on Parallel and Distributed processing Techniques and Applications, Sunnyvale, USA, 1996.
- Gervais M-P, Diagne A:** "Service Creation Using Agent Technology and Formal Methods", 7th IEEE International Workshop on Intelligent Networks, Bordeaux, France, May 1998.
- Gervais M-P, Jabbari B:** "A Framework for Mobility in Wireless Personal Communications", Proceedings of the IEEE International Conference on Communications, Dallas, Texas, USA, pp 1148-1152, 1996.
- Gervais M-P, Ruffel N:** "Coupling Software Agent Technology and Formal Methods for the Production of Telecommunication Services", IEEE International Workshop on Quality and Productivity for Communications, Ojai Valley, USA, May 1997.
- Gervais M-P, Ruffel N:** "Design of Telecommunication Service Based on Software Agent Technology and Formal Methods", Proceedings of the IEEE Globecom'97, Phoenix, USA, vol III, pp 1724-1728, November 1997.
- Ilié J-M, Ajami K:** "Model Checking through Symbolic Reachability Graph", Theory and Practice of Software Development, TAPSOFT, Lille, France, LNCS vol 1214, Springer Verlag, pp 213-224, April 1997.
- Kordon F, Mounier J-L:** "FrameKit and the prototyping of CASE environments", 8th International Workshop on Rapid System Prototyping Chapel Hill, USA, 1997.
- Kordon F, Poizot N, Filliatreau G, Kordon C:** "BioMedScape: a Web based Environment for Diffusion and Analysis of Research Data in Discrete Areas of Life-Sciences", Proceedings of the thirteenth International Conference on Computer Communication, Cannes, France, pp 149-154, November 1997.
- Haj Mahmoud Y., Folliot B.:** "Modèle de système réparti pour l'étude des performances du placement dynamique. A paraître dans les Actes des 10ème Rencontres Francophones du Parallélisme, RenPar'10, Strasbourg, mai 1998.
- Haj Mahmoud Y., Folliot B.:** "Queuing Network Model for Load Balancing Evaluation in a Heterogeneous Distributed System" A paraître dans Proc. of International Conference on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications, Las Vegas, august 1998.
- Mével F, Simon J:** "Distributed communication services in the Masix system", Proceedings of the 15th International Conference on Computers and Communications, IEEE, Phoenix, pp 172-178, 1996.
- Mével F, Simon J:** "Secure Communication Services in the Masix Distributed Operating System", Proceedings of the IASTED, NETWORKS, Orlando, pp 5-9, 1996.
- Raverdy P-G, Darche P, Folliot B:** "Dynamic Management of Cooperative Applications for Mobile Systems. The Information Revolution: Impact on Science and Technology, J.E. Dubois & N. Gershon eds, Chapter 3 : Distributed Data and Information Networks, pp 141-148, Springer-verlag 1996.
- Sens P, Folliot B:** "Performance Evaluation of Fault Tolerance for Parallel Applications in Networked Environments", Proceedings of 26th International Conference on Parallel Processing, pp 334-341, August 1997.
- Taghelit M, Sens P, Foughali K:** "A New Scheme for the Provision of Reliable Access to Network Services", Proceedings of the International Conference on Telecommunications, June 1998.
- Vernier I:** "Symbolic executions of symmetrical parallel programs", Proceedings of the 4th Euromicro Workshop on Parallel and Distributed Processing, Braga, Portugal, pp 327-334, 1996.

Publications dans des actes de congrès ou des ouvrages de synthèse, notoriété courante (43)

- Andres F, Folliot B, Cadinot P, Kaneko K, Makinouchi A, Ono K, Sens P:** "The TOSDHIM System Management of Distributed Heterogeneous Multimedia Information", Proceedings of the Eighth International Workshop on Database and Expert Systems Applications, September 1997.
- Arantes L, Folliot B, Sens P:** "Problématique de la conception d'une MPR hétérogène", Deuxièmes Journées de Recherche sur Le Placement Dynamique et la Répartition de Charge, Lille, France, may 1998.
- Arantes L, Sato L:** "CPAR-DSM: a Support for Parallel Programming on Top of DSM", Proceedings of the International Conference on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications To appear in : IEEE, Las Vegas, USA, July 1998.
- Bari M, Gabrini P, Rolland C, Zeroual K:** "Active Information Systems, from Object-Oriented Design to Ada 95", ACM Tri-Ada'96 Conference, Philadelphia, USA, pp 115-124, 1997.
- Bernard G, Folliot B:** "Problématique du Placement Dynamique et de la Répartition de Charge", Actes de l'Ecole Thématique CNRS & PRS Placement Dynamique et Répartition de Charge, Presqu'Ile de Giens, France, july 1996.
- Bretelle B, Terracol T, Folliot B, Sens P:** "Problématique du Placement Dynamique dans les Systèmes Répartis à Haut Débit", Actes des 8ièmes Rencontres Francophone du Parallélisme, Bordeaux, France, may 1996.
- Bretelle B, Terracol T, Folliot B, Sens P:** "Problématique du placement dynamique dans les systèmes repartis à haut débit" Placement dynamique et répartition de charge : application aux systèmes répartis et parallèles, Chapitre 3 : Placement à grain fin, Collection INRIA, pp.197-212,1997. Version étendue des Actes de l'Ecole d'Eté CNRS & PRS, Presqu'Ile de Giens, pp.255-262, july 1996
- Bretelle B, Folliot B :** "Placement dynamique d'applications parallèles communicantes dans les mémoires partagées réparties. A paraître dans les actes des 2èmes Journées de Recherche sur le Placement Dynamique et la Répartition de Charge, GDR ARP/ CNRS, Lille, may 1998.
- Cadinot P, Dorta N, Folliot B:** "Maîs, un système de pagination en mémoire distante dans un environnement réseau à haut débit". Actes des 9ème Rencontres Francophones du Parallélisme, RenPar 9, EPFL, Lausanne, Suisse, May 1997.
- Cadinot P, Dorta N, Folliot B, Sens P:** "Swap réparti", Actes des Journées de Recherche sur la Mémoire Partagée Répartie, Bordeaux, France, may1996.
- Chevochot P, Lesot J-P, Rifflet J-M:** "Mesure du temps comme méthode à l'évaluation de la charge multi-critères en environnement hétérogène", Actes RenPar'8, Bordeaux, France, pp 218, May 1996.
- Commelin E, Darche P:** "ActPL : un modèle acteur adapté à la programmation des systèmes embarqués", Actes du Congrès Rencontres Francophones RenPar8, Bordeaux, France, May 1996.
- Derrough-Darche F:** "Set Differentiation: A Method for the Automatic Generation of Filtering Algorithms", Proceedings of the 11th Knowledge-Based Software Engineering Conference, 1996.
- Diagne A:** "Architectural Concepts within Agents : A Way to Separate Concerns in Open Distributed Systems", 2nd International Conference on Formal Methods for Object-based Open Distributed Systems, Canterbury, UK, IFIP (Eds), Chapman, 1997.
- Diagne A:** "Control Properties in Object-Oriented Specifications", Advances in Petri Nets on Object Orientation, LNCS Springer Verlag (G.Agha & F. De Cindio Eds), 1997.
- Diagne A, Estrailier P:** "Formal Specification and Design of Distributed Systems", Proceedings of the Formal Methods for Object-based Open

Distributed Systems, IFIP, Chapman, Paris, France, 1996.

Folliot B, Girault C, Sens P, Raverdy P-G: "Resource Allocation for Parallel Applications, From Local Area Networks to Multi-clustered High-speed Networks", IFIP W. G.10.3 Workshop, Paris, France, 1996.

Folliot B, Piumarta I, Riccardi F: "Virtual Virtual Machines", Actes de Cabernet Radical Workshop, Crète, grèce, 1997.

Gervais M-P, Diagne A: "Formalization of Service Creation in Intelligent Network", Proceedings of the 4th International Conference on Intelligence in Networks, Bordeaux, France, pp 90-95, 1996.

Gervais M-P: "La technologie agent et les télécommunications", 2ème colloque francophone sur la gestion de réseau et de service, Rennes, France, pp 173-184, September 1997.

El Kaïm W, Menaud J-M: "VODEL : Un langage de description d'applications parallèles à granularités variables", Actes de l'Ecole Thématique CNRS & PRS Placement Dynamique et Répartition de Charge, Presqu'île de Giens, France, 1996.

Haj Mahmoud Y., Folliot B.: "Comparaison du placement et de la migration dans un système de répartition de charge".A paraître dans les actes des 2èmes Journées de Recherche sur le Placement Dynamique et la Répartition de Charge, GDR ARP/ CNRS, Lille, may 1998.

Prun D, Barril P: "Observation du contrôle dans les applications distribuées", Actes de la Rencontre Francophone sur le Parallélisme, Bordeaux, France, May 1996.

Prun D, Barril P: "Observation du contrôle dans les applications multi-agents", Actes des Journées PRS sur le contrôle réparti dans les applications coopératives, Paris, France, pp 59-64, 1996.

Raverdy P-G, Folliot B: "Resource Management and Load Balancing for Networks of Parallel Machines; Proc. of 6th Parallel Computing Workshop, Fujitsu Parallel Computing Research Facilities, Kawasaki, Japon, pp.P2-E-1-5, Novembre 1996.

Ruffel N, Gervais M-P: "Un modèle d'interactions orienté-agent pour la conception de services de télécommunications", 5èmes Journées Francophones sur l'Intelligence Artificielle Distribuée et les Systèmes Multi-Agents, La Colle-sur-Loup, France, pp 86, April 1997.

Sahnoun Z, Boufaïda M, Barril P: "A Multi-Agent Based Model for the Software Engineering Process", Software Quality Engineering, Udine, Italy, pp 103-112, May 1997.

Sens P, Popentiu-Valdicescu F, Adrian M: "Software Reliability Forecasting for Adapted Fault Tolerance Algorithms", Proceedings of the European Safety and Reliability Conference, June 1998.

Taghelit M, Haddad S, Sens P: "A Structural Approach to Design Reliable Distributed Applications", Proceedings of 2nd European Research Seminar on Advances in Distributed Systems, March 1997.

Zakhama N, Estraillier P: "Formal distributed heterogeneous prototyping : a perspective for system continuous development", Proceedings of the Telecommunication Distribution Parallelism, Hermès, L'Agelonde, 1996.

Brevets, logiciels (distribués par ftp) (2)

CPN-AMI 1.3: Environnement de Génie Logiciel dédié aux réseaux de Petri (modélisation, vérification, génération de code, <http://www-src.lip6.fr/cpn-ami> (1993-98, 15 clients/an).

CPN-AMI 2.0: Extensions de CPN-AMI 1.3 (nouvelle plate-forme logicielle de prototypage d'environnements, nouveaux outils, portage de certains outils intégrés dans la version précédente) <http://www-src.lip6.fr/cpn-ami> (1997-98, 15 clients/an).

Divers et rapports de recherche (19)

- Ajami K, Ilié J-M:** "An Automatique Technique for CTL* Model Checking", Université Paris 6 - CNRS - LIP6, n° 1997/017, 1997.
- Buchs D, Diagne A, Kordon F:** "Testing Prototypes Validity to Enhance Code Reuse", Université Paris 6 - CNRS - LIP6, n° 1998/017, 1998.
- Cadinot P, Dorta N, Folliot B, Sens P:** "Mécanisme de va-et-vient réparti en mémoire dans un environnement réseau à haut débit", IBP-MASI, n° 1996/014, 1996.
- Couveur J-M, Poitrenaud D:** "Model checking based on occurrence net graph", IBP-MASI, n° 1996/006, 1996.
- Darche P:** Chef de projet d'une équipe de cinq personnes participant au Concours International de Robotique Mobile - 1^{er}, 2^{ème} et 3^{ème} Festivals Internationaux des Sciences et Techniques, La Ferté-Bernard 94-95-96. Prix spécial 1996 du jury pour le design.
- Diagne A:** "Architectural Concepts for Agent Paradigm: A Way to Separate Concerns in Open Distributed Systems", Université Paris 6 - CNRS - LIP6, n° 1997/004, 1997.
- Diagne A, Estrailier P:** "A Component-based Framework for the Specification, Verification and Validation of Open Distributed Systems", Université Paris 6 - CNRS - LIP6, n° 1997/037, 1997.
- Diagne A, Estrailier P, Kordon F, Vernier I, Cazin J, Doche M, Seguin C, Wiels V:** "Spécification et Validation Modulaires de Systèmes Avioniques : Projet FORMA - Opération VaMos, Rapport Final", ONERA - CERT, n° 4/3599.00/DERI, 1997.
- Diagne A, Kordon F:** "From Formal Specification to Optimized Implementation of Distributed Systems~: A Multi-Formalism Approach", Université Paris 6 - CNRS - LIP6, n° 1997/039, 1997.
- Folliot B, Sens P, Raverdy P-G:** "Plate-forme de répartition de charge et de tolérance aux fautes pour applications parallèles en environnement réparti", IBP-MASI, n° 1996/001, 1996.
- Gervais M-P, Diagne A:** "Enhancing Telecommunication Service Engineering with Mobile Agent Technology and Formal Methods", Université Paris 6 - CNRS - LIP6, n° 1997/012, 1997.
- Gervais M-P, Diagne A:** "Formalization of Service Creation in Intelligent Network", Université Paris 6 - CNRS - LIP6, n° 1997/036, 1997.
- Gervais M-P, Jabbari B:** "A framework for mobility in wireless personal communications", IBP-MASI, n° 1996/008, 1996.
- Gervais M-P, Ruffel N:** "Design of Telecommunication Services Based on Software Agent Technology and Formal Methods", Université Paris 6 - CNRS - LIP6, n° 1997/013, 1997.
- Kordon F, Mounier J-L:** "FrameKit and the Prototyping of CASE Environments", Université Paris 6 - CNRS - LIP6, n° 1997/001, 1997.
- Lesot J-P, Rifflet J-M:** "Estampilles d'Ordonnancement: Principes & Utilisations", Université Paris 6 - CNRS - LIP6, n° 1998/001, 1998.
- Raverdy P-G, Darche P, Folliot B:** "Dynamic management of cooperative applications for mobile systems", IBP-MASI, n° 1996/013, 1996.
- Vernier I:** "Symbolic executions of symmetrical parallel programs", IBP-MASI, n° 1996/015, 1996.
- Vernier I:** "Model Checking and Parameterized Distributed Systems", Université Paris 6 - CNRS - LIP6, n° 1997/011, 1997.

Activités éditoriales

Rédacteur de revues et membres de comités de lecture

Estrailier P.,

- Éditions Hermès (Rédacteur en chef adjoint de la revue TSI : Technique et Science Informatiques)

Éditeur d'actes de congrès ou d'ouvrages collectifs

Girault C.,

- Editeur IFIP WG 10.3 conférence, Decentralized Systems, North Holland, 1994.

Barril P.,

- Journées PRS sur le Contrôle Réparti dans les Applications Coopératives (CRAC'96) Université Paris 6, 1996 (co-éditeur avec L. Duchien).

Rédacteur associé d'une revue

Folliot B.,

- Edition Hermès, "Calculateurs parallèles", co-éditeur d'un numéro spécial sur les réseaux à haut débit.

Organisation scientifique de congrès et colloques

Président de conférence

Girault C.,

- IFIP WG 10.3 Conférence on Decentralized Systems, Caracas, Venezuela, mai 1994.

Barril P.,

- Journées de Recherche sur "Le Contrôle Réparti dans les Applications Coopératives". Patronnées par le GDR-PRC Parallélisme, Réseaux et Systèmes. Paris, 30 et 31 mai 1996.

Membre de comité de programme ou de comité scientifique d'un congrès

Barril P.,

- Journées Francophones Environnements Interactifs d'apprentissage avec Ordinateur (EIAO'97), Cachan, 1997.
- Artificial Intelligence in Education (AIED'97), Kobé, 1997.
- Séminaire National d'Informatique (SNITO'96) Tizi Ouzou, Algérie, 1996.

Bretelle B.,

- Membre du comité d'organisation de l'Ecole Française de Parallélisme, Réseaux et Systèmes (patronnée par le PRC-GDR PRS du CNRS/MENESR). Placement Dynamique et Répartition Charge : application aux systèmes parallèles et répartis, Presqu'île de Giens, 1-5 juillet 1996.

Estrailier P.,

Comité de programme des 4^{ième} et 5^{ième}s journées sur l'intelligence artificielle distribuée et les systèmes multi-agents (Montpellier, La Colle sur Loup)

Gervais M.P.,

- Membre de comité de programme des colloques francophones sur la gestion de réseau et de service (GRES) en 1996 et 1997.

Girault C.,

- CPN 97 International Conférence on Applications and Theory of Petri Nets, Toulouse, France, juin 1997.

Kordon F.,

Membre du comité de programme de la conférence annuelle Rapid System Prototyping (IEEE) depuis 1996.

- Membre du comité de programme de la conférence Ada-Europe (à partir de l'édition 1999). Ada-Europe est une conférence sponsorisée par le groupe ACM/Sigada.

Coordinateur de projets européens :

Girault C., ALFA Amérique Latine Formation Académique (réseau PARNET Parallel Network : 1996-1997)

Girault C., CHM Human Capital and Mobility program (project MATCH, Modelling and Analysis of Time Constrained and Hierarchical systems 1994-1998) , Co-responsable de l'un des livres collectifs produits par le projet

Organisation de séminaires

Barril P.,

- Séminaire EIAO, co-responsable avec M. Baron et P. Barril (LIP6)

Folliot B.,

- "Journées de Recherche sur le Placement Dynamique et la Répartition de Charge : Application aux Systèmes Répartis et Parallèles", avec le soutien de la direction du GDR PRS.

Administration de la recherche

Barril P.,

- Membre des GT6 "Collecticiels et Systèmes Coopératifs" et GT3 "Formalismes et Langages Appliqués aux Systèmes Hautement Interactifs" du PRC-GDR Communication Homme-Machine

- Responsable pour l'équipe du thème "Modèles et Algorithmes des Systèmes Coopératifs" du PRC-GDR PRS

Darche P.,

- Membre suppléant de la commission de spécialistes de Paris V, 27^{ème} section

Estrailier P.,

- Systèmes Multi-Agents: Projet du GDR PRS (nov 93-Nov 95) Responsable du projet pour le MASI.

- Responsable du DEA de Systèmes informatiques depuis 1995.

- Coordinateur pour les conventions CIFRE de l'Association Nationale de la Recherche Technique depuis 96.

Folliot B.,

- Responsable des séminaires de l'Ecole Doctorale de l'Université Paris VI, 1996/97
- Janvier 1997 : Collaborateur extérieur à l'INRIA, projet SOR.
- Responsable du thème "Construction de systèmes d'exploitation" du PRC-GDR PRS

Gervais M.P.,

- Membre de l'IEEE Communications Switching Committee
- Expert à l'AFNOR, et ISO, groupe de travail WG7 (ODP)
- Membre de la commission de spécialiste de Paris V et Versailles Saint-Quentin
- Membre du comité scientifique de l'IUT Paris V

Girault C.,

- Directeur de l'Ecole Doctorale en informatique (6 DEA) 1994-97.
- Président de la commission des thèses en informatique à Paris 6 1992 -96.
- Coordinateur pour les conventions CIFRE de l'Association Nationale de la Recherche Technique 1993-96.
- Responsable du DEA de Systèmes informatiques 1981-94.
- Représentant AFCET à l'IFIP TC 10 (Task Committe on Computer System technology), 1991-97: membre du Petri Nets Steering Committee, 1989-97.
- Président de la Société des Personnels Enseignants et Chercheurs en Informatique de France (SPECIF), 1992-94.
- Expert de la Direction Scientifique et Technique DSPT 4 (AEEIO) du MESR, 1994 - 96

Ilié J.M.,

- Membre du conseil d'administration, Université Paris V René Descartes
- Membre de la commision de choix de l'IUT, de la commission d'audition mixte IUT-ParisV.

Kordon F.,

- Membre du conseil d'UFR de l'Université Paris VI.
- Président de l'Association Ada France.

Formation par la recherche

Boulos J: "*Optimisation et evaluation des performances des systèmes de bases de données*", Thèse d'université, UPMC, 22/07/1996, encadrée par Girault C.

Conan D: "*Tolérances aux pannes dans les systèmes répartis*", Thèse d'université, UPMC, 09/09/1996, encadrée par Girault C et G.Bernard (INT).

Coriat M: "*I2AM : Une méthode orientée agent pour la construction de systèmes distribués*", Thèse d'université, 09/11/1996, encadrée par Estraillier P.

Diagne A: "*Une approche multi-formalismes de spécification de systèmes répartis : transformation de composants modulaires en réseaux de Petri*", Thèse d'université, 06/06/1997, encadrée par Estraillier P.

El Kaïm W: "*Structuration, Placement et Exécution de composants logiciels dans les applications réparties ou parallèles: mise en œuvre avec des applications construites selon le paradigme client-serveur sur des architectures hybrides*", Thèse d'université, UPMC, 10/12/97 encadrée par Estraillier P.

- Ferreira P:** "*Ramasse miettes réparti*", Thèse d'université, UPMC, 10/05/96, encadrée par Girault C et M. Shapiro (INRIA).
- Folliot B:** "*Contribution à une approche système du placement dynamique dans les systèmes répartis hétérogènes*", Thèse d'habilitation à diriger des recherches, 10/12/1996.
- Hubart N:** "*Observation et mise au point pour calculateur distribué temps réel critique*". Thèse d'Université, UPMC, 01/07/97, encadré par Girault C.
- Maisonneuve J:** "*Le partage de données dans les systèmes répartis*", Thèse d'université, UPMC, 07/10/96, encadrée par Girault C.
- Ozanne C:** "*Conception d'applications client/serveur modèles d'architecture fonctionnelle et opérationnelle*", Thèse d'université, 04/04/1996. encadrée par Estraillier P.
- Poitrenaud D:** "*Grphe de processus arborescents pour la vérification de propriétés*", Thèse d'université, 10/12/1996, encadrée par Estraillier P.
- Pottoniee O:** "*Etude et prototypage en Esterel de la gestion de processus d'un micro-noyau de système d'exploitation réparti avec garantie de service*", Thèse d'université, UPMC, 02/04/96, encadrée par Girault C et J.B. Stéfani (CNET).
- Prun D:** "*Méthodologie de conception de composants logiciels coopératifs : une approche pour l'observation, la mise au point et la maintenance évolutive d'applications réparties*", Thèse d'université, 12/03/1998. encadrée par Estraillier P. et Barril P.
- Raverdy P-G:** "*Gestion de ressources et répartition de charge dans les systèmes hétérogènes à grande échelle : application aux environnements mobiles et parallèles*", Thèse d'université, 06/06/1996. encadrée par Girault C.
- Zakhama N:** "*Réalisation de systèmes distribués en temps réel*", Thèse d'université, UPMC, 21/06/1996, encadrée par Estraillier P.

Projets et contrats

Participation aux grands programmes de recherche nationaux

PRC-GDR Pôle Réseaux et Systèmes
 – Construction de systèmes d'exploitation
 Responsable scientifique : B. Folliot, durée : 1994/1996, financement : 20 KF,
Partenaires : CRIM, IRISA, LAAS, IRIT, CNAM, CNET-Paris A..

PRC-GDR Pôle Réseaux et Systèmes
 – Algorithmique des systèmes coopératifs
 Responsable scientifique pour le thème : P. Estraillier, P. Barril, durée : 1994/1996, financement : 9 KF
Partenaires : IRISA, LAAS, LIPN, CNAM, CEDRIC, LAMSADE, HEDIASYC, IRIT.

PRC-GDR "Architecture, Réseaux & Systèmes, Parallélisme"
 Thèmes "Systèmes et Applications Répartis" et "Algorithmique, Langage et Programmation"

Programme Télécommunications du CNRS
 Projet ODAC : Conception formelle de services de télécommunication selon le paradigme agent
 Responsable scientifique : M.P. Gervais durée : 97/2000, financement : 220 KF,

Contrats avec les établissements publics

DRET - Projet FORMA -

Responsable scientifique : P. Estrailier, durée: 1/97-12/99, financement : 248 KF,

Validation formelle et spécifications temporelles "Spécification et vérification modulaire de systèmes complexes critiques.

Partenaires : CERT-ONERA, Sextant Avionique.

CTI CNET CARISMA [Étude sur les moyens à fournir au concepteur de logiciel pour développer des agents logiciels coopérants]

Responsables scientifiques : P. Estrailier, J. Ferber, J.-P. Briot, durée: 12/95-12/98, financement : 1 850 kF (géré par le thème SRC)

L'objectif de ce projet est de fournir à un concepteur de logiciel les moyens de modéliser, valider et réaliser des logiciels coopératifs de type agent. L'application test consiste en la modélisation des services d'une agence de voyage, et en particulier le problème du suivi de contrat.

Partenaires : Thème OASIS, LIRMM

Contrats industriels

SNECMA ELECMA

Responsable scientifique : C. Girault, durée: 09/94 - 9/97, financement : 120 KF

Définition de moyens d'observation et de mise au point pour les calculateurs embarqués, répartis, temps réel, tolérants aux fautes.

DER-EDF

Responsable scientifique : M.P. Gervais, durée : 03/98 - 11/1998, financement : 373 KF

Méthodologie de développement d'applications coopératives selon les points de vue ODP et leurs corrélations

Contrats internationaux

MATCH (Human Capital and Mobility)

(Commun avec le thème Réseaux et Performances)

Responsable scientifique : C. Girault, durée : 1994-1998, financement : 420 KF

L'objectif du projet est le développement de méthodes de vérification et d'évaluation pour des systèmes complexes intégrant des paramètres de temps. Notre contribution porte essentiellement sur les techniques d'évaluation de performances, en particulier les méthodes exactes exploitant les symétries du système et les méthodes approximatives utilisant la décomposition du modèle.

Partenaires : Universités d'Eindhoven, Hambourg, Turin, Vienne, Saragosse

PARNET ALFA

Responsable scientifique : C. Girault, durée : 3/97-3/98, financement : 600 KF

Etude du parallélisme pour le traitement d'image et l'analyse numérique. Notre contribution porte sur l'étude des architectures systèmes et logicielles sous-jacentes. Ce projet est effectué en collaboration avec le thème *Algorithmique Numérique et Parallélisme*.

Partenaires : Universidad Central de Venezuela (Caracas), Instituto Politecnico Nacional (Mexico), Universidad Politecnica de Cataluna (Barcelona), University of Edinburgh

Visiteurs étrangers

Moldt Daniel, Université de Halmbourg (03/97)

Sherson Isaac, University of California, Irvine (01/97 - 06/97)

Hamacher Carl, Queen's University, Kingston, Canada (1/97 - 06/97)

Didier Buchs, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (01/98 - 02/98)
Susanna Donatelli, University of Torino, Italy (9/97 - 2/98)

Sémantique, preuve et implantation

Hardin Thérèse

Ben Yellès Choukri
Chailloux Emmanuel
Manoury Pascal
Nguyen Van-Lu
Pouzet Marc¹
Queinnec Christian¹
Spathis Vassiliki

Professeur, UPMC
Professeur, IUT Valence
Maître de Conférences, UPMC
Maître de Conférences, UPMC
Maître de Conférences, UPMC
Maître de Conférences, UPMC
Professeur, UPMC
Maître de Conférences, UPMC

ITA-IATOS

Frénod Jean-Michel²
Massot David²

Ingénieur d'études, CNRS
Adjoint administratif, CDD, UPMC

Personnel temporaire

Havelund Klaus
Pagano Bruno
Saïbi Amokrane³

Post-Doc, programme européen HCM
ATER, UPMC
ATER, UPMC

Doctorants présents 80% du temps au LIP6

Alexandre Guillaume (Hardin/Lazard, 94)
Chabanne Nacira (Hardin, 94)
Boulmé Sylvain (Hardin 97)

Saura Thierry (Queinnec, 94)
Mammass Brahim (Hardin, 95)

Doctorants présents moins de 80% du temps au LIP6

Gureghian Emmanuel (Hardin, 95)
Hu Ping (Eisenbeis/Pouzet, 96)
Chavin Philippe (Monin/Hardin 97)

1 Nommés le 1/9/96

2 Partagés avec le thème Calcul formel

3 Année 96-97

Deux tendances caractérisant l'évolution de l'utilisation de l'outil informatique dans notre société fondent notre projet de recherche. D'une part, le réseau devient omniprésent et incite à développer des langages ou des extensions linguistiques autorisant des calculs parallèles sur de multiples machines. D'autre part, la demande de certification des systèmes logiciels ne concerne plus seulement les systèmes traditionnellement très critiques comme le transport et le nucléaire. Elle s'étend actuellement à de nombreux autres domaines tels que les échanges bancaires, l'instrumentation médicale, etc., là aussi, à cause du développement des réseaux.

Ainsi, le nom même de notre thème reflète les axes de recherche que nous souhaitons développer :

- Sémantique : il s'agit de définir la signification et les propriétés des formalismes et des langages employés
- Preuve : il s'agit de faciliter l'utilisation des méthodes formelles dans la construction de systèmes logiciels
- Implantation : il s'agit de développer aussi bien les langages de spécification que les langages de programmation, sans omettre les outils d'aide à la preuve qui sont nécessaires à la validation de notre approche.

Notre projet s'articule donc autour des deux mots-clés *langage* et *certification*, que nous allons utiliser pour détailler un peu notre problématique, en cernant pour chacun de ces points, les aspects sémantique, preuve et implantation.

En ce qui concerne les *langages*, nous comptons travailler sur la *répartition* et le *synchronisme*.

Dans le cadre du réparti, notre but à long terme est d'offrir un langage permettant de coordonner et d'harmoniser de multiples calculs sur de multiples machines. Plus précisément, la réalisation d'applications coopératives passe par la disponibilité d'une mémoire partagée répartie. Un langage multi-tâches et réparti est fort sensible au type de cohérence qu'apporte ou qu'impose la mémoire sous-jacente. Pour donner une sémantique à un tel langage, il faut spécifier très précisément les propriétés d'une telle mémoire et des protocoles d'accès. Nous envisageons de développer cette sémantique dans plusieurs formalismes (dénotationnel, calcul de processus, etc.), de comparer leurs pouvoirs d'expression et la facilité qu'ils procurent pour la mise en œuvre de preuves des propriétés des protocoles. Une mémoire répartie impose la présence d'un ramasse-miettes (GC). Nous avons déjà travaillé sur le sujet et proposé un tel GC, nous envisageons d'en donner une sémantique formelle, de développer sa preuve de correction et d'en réaliser une implantation. Nous devons également poursuivre le travail entrepris sur l'interopérabilité entre langages et bibliothèques.

Dans le cadre du synchronisme, nous poursuivons nos travaux sur les sémantiques des extensions du langage temps-réel LUSTRE. Nous étudierons aussi l'intégration de flots synchrones dans Objective CAML, langage à objets développé à l'INRIA, offrant un très riche système de modules, la synthèse des types et la pleine fonctionnalité. Cela ira de pair avec la réalisation d'outils d'aide à la preuve pour des programmes synchrones, ceux-ci constituant des composantes importantes des systèmes dits critiques.

En ce qui concerne la *certification*, on constate que les méthodes formelles sont de plus en plus requises dans le développement de systèmes, pour garantir la sûreté, la fiabilité et la bonne adéquation de l'implantation. Le cycle de vie du logiciel comprend alors la

construction d'une spécification formelle à partir du cahier des charges en s'assurant qu'elle répond bien aux exigences de ce cahier et contient la preuve de correction de l'implantation proposée vis-à-vis de cette spécification. La formalisation requiert l'utilisation de langages de spécification et de programmation, sémantiquement fondés, condition minimale pour pouvoir exprimer et prouver des propriétés. Or, d'une part, on ne dispose pas toujours d'un langage formel bien adapté à une application donnée, et d'autre part, même s'il existe des langages formels candidats, on ne dispose pas encore de réels critères de choix parmi ces langages, ni de méthodologie d'utilisation, ni d'outils bien adaptés.

Nous comptons répondre au premier point, d'une part, au cours des travaux évoqués sous le mot-clé *langage* par l'étude sémantique des langages proposés dans le cadre de la répartition et du synchronisme, d'autre part, en poursuivant l'étude des extensions des langages de substitutions explicites et des langages de calcul de processus en collaboration avec le projet PARA de l'INRIA.

Pour répondre au second point, nous continuerons à nous restreindre à l'utilisation de systèmes d'aide à la preuve et éventuellement à leur collaboration avec des outils de vérification. En effet, si les fondements logiques des systèmes d'aide à la preuve sont assez bien compris, les outils qu'ils proposent sont encore très rudimentaires et la méthodologie de leur emploi encore bien balbutiante. Faire une preuve aidée demeure une affaire de spécialiste : la formalisation du problème demande une certaine maîtrise des fondements logiques du prouveur, son utilisation nécessite une bonne compréhension de sa structure interne et plus généralement, la construction de la preuve s'apparente à une construction de programme et demande des compétences avancées en programmation. Le domaine de la preuve aidée par l'ordinateur est donc un vaste sujet de recherche et nous souhaitons y apporter notre contribution sur les points suivants : étude de cas pour fournir des méthodologies de formalisation des cahiers des charges, développement d'outils génériques de modélisation et de démonstration, incorporation de tels outils dans certains systèmes d'aide à la preuve, interfaces entre langages de programmation et systèmes d'aide à la preuve. Ces travaux seront poursuivis en collaboration très étroite avec l'équipe Programmation du CEDRIC-CNAM, dirigée par V. Vigié-Donzeau Gouge. Certains points seront traités également en collaboration avec le thème CalFor et le thème SRC ainsi qu'avec l'équipe de G. Bernot à l'Université d'Evry. Dans ce cadre, nous poursuivrons également nos travaux plus fondamentaux sur une présentation unifiée des méthodes de déduction dans la logique d'ordre supérieur et les théories du premier ordre en collaboration avec C. Kirchner et G. Dowek de l'INRIA.

Bilan synthétique des recherches

Le thème regroupe des chercheurs, C. Queinnec et M. Pouzet, nommés au 1er septembre 1996 à l'UPMC. Notre activité au cours des années 1994-1997 s'articule donc autour de trois volets, constitués par les travaux autour de la répartition, du synchronisme et de la certification.

Répartition

Le développement des réseaux conduit à la définition de langages sachant tirer parti de la répartition offerte pour effectuer de vastes calculs. Au lieu de rechercher des facteurs d'accélération sur certains algorithmes, il semble plus novateur de procurer des possibilités de programmation de ces calculs dont le résultat est un comportement réparti cohérent. C. Queinnec et T. Saura se sont intéressés au domaine des langages et de la programmation répartie.

La répartition de données et de calculs nécessite de s'écarter du modèle prédominant mono-processeur et mono-utilisateur. Le langage de commandes proposé se fonde sur le langage de programmation Scheme étendu par des primitives de calcul parallèle et réparti. L'ensemble des travaux réalisés portent sur différents aspects complémentaires tels que :

- la cohérence de mémoire répartie,
- la sérialisation/désérialisation de données,
- les environnements de première classe,
- la macro-expansion réflexive,
- le contrôle de calculs répartis au moyen de leur consommation,
- l'interopérabilité entre langages.

Tous ces aspects convergent en l'implantation d'un langage de commande réparti.

Synchronisme

Le langage Lustre est un langage à flot de données synchrone permettant de décrire des systèmes temps-réels qui connaît des succès industriels certains (Schneider Electric, Aérospatiale, etc.). L'hypothèse de synchronisme –la production d'une sortie est effectuée au même instant que la lecture d'une entrée– permet une compilation efficace des programmes sous forme d'automate. Les travaux de M. Pouzet, réalisés en collaboration avec P. Caspi de VERIMAG, ont porté sur la définition, la sémantique et l'implantation d'une extension de Lustre appelée Lucid Synchrone. Lucid Synchrone est un langage fonctionnel synchrone combinant la pleine fonctionnalité des langages de la famille ML et le synchronisme de Lustre. Le langage est distribué par ftp anonyme.

Certification

Le groupe de travail PI a été créé en novembre 1994 par T. Hardin et V. Vigié Donzeau-Gouge, M. Simonot puis J.-R. Abrial (CEDRIC-CNAM) et a été renforcé en 1995 par C. Ben-Yellès, K. Havelund et P. Manoury et en 1996 par M. Pouzet et C. Dubois (Université d'Evry). Le groupe de travail organise deux séminaires : une réunion mensuelle d'une journée (groupe BIP) à laquelle participent des chercheurs des universités de Lille, Nancy, Nantes et de la région parisienne et des industriels (Digilog, Matra, Bertin, Servantec, etc.), une réunion hebdomadaire d'une journée, consacrée plus spécialement aux doctorants du groupe.

Les travaux du groupe PI se focalisent sur l'utilisation des méthodes formelles pour la certification des systèmes informatisés. L'objectif était d'abord d'acquérir une bonne connaissance à la fois théorique et pratique des différents systèmes opérationnels d'aide à la preuve (B, Coq, PVS) et plus généralement des outils de spécification. Cela nous a conduit à organiser des exposés et des journées du groupe BIP pour présenter ces outils (Coq, CTCq et CENTAUR, PVS, B, Lustre, SPIKE, Pi-calcul, etc.).

Nous avons aussi développé un certain nombre d'applications conjointement dans plusieurs systèmes. Le but était de mesurer leur faisabilité et d'élaborer une méthodologie de développement pour chaque type d'application. Ont été ainsi réalisées différentes preuves d'un même protocole (BRP, protocole cryptographique, etc.) avec des méthodes et des formalismes très divers, des développements de théories algébriques en Coq et PVS, des codages d'algorithmes en Coq, etc. (travaux d'Alexandre, Boulme, Gureghian, Havelund, Manoury, Mammass côté SPI). Cela nous a conduit à étudier la formalisation d'une spécification donnée en langage naturel (travaux de Boulme, Gureghian, Mammass côté SPI). Des résultats méthodologiques ont ainsi été obtenus et sont en cours de publication.

Plus fondamentalement, cette mise à l'épreuve pousse à l'amélioration des outils logiques sous-jacents à ces systèmes, en particulier dans le domaine de l'automatisation de la recherche des preuves par induction (travaux de Manoury).

Parallèlement, un certain nombre d'outils pour le prouveur Coq ont été réalisés ou sont en cours de développement : pour la théorie des ensembles de Zermelo-Frankel, pour la réécriture et pour les sets (travaux d'Alexandre, Manoury, Chabanne, Saibi).

Les travaux sur les langages de substitution explicite ont été poursuivis dans deux directions. D'une part, ces langages sont utilisés pour l'implantation de prouveurs fondés sur des logiques d'ordre supérieur. D'autre part, ils fournissent un cadre formel, dans lequel décrire et prouver les passes des compilateurs.

Bilan détaillé des recherches

Interopérabilité entre langages

T. SAURA

Faire coopérer harmonieusement des langages différents au sein d'un même espace mémoire est un problème délicat. Les deux langages ici considérés sont C et Scheme. Ce problème dépend largement de propriétés linguistiques telles que, comme en Scheme, la possibilité de connaître, à l'exécution, le type de toute valeur manipulée ou encore l'existence d'une gestion automatique de la mémoire (GC pour glanage de cellules). Une nouvelle technique, consistant à délier types et valeurs dans la représentation et la manipulation des données, permet cette cohabitation. Un interprète appliquant ces techniques a été réalisé (Saura, 1997). Cet interprète est seulement deux fois plus lent qu'un interprète normal mais procure des possibilités de couplage intéressantes. Un compilateur est en cours de réalisation. Ce compilateur incorporera certaines analyses statiques visant à réduire le coût de la coopération dans les cas où l'on peut prouver qu'elle est inutile.

Langage réparti de commande

C. QUEINNEC

La cohérence de mémoire partagée répartie est à la base de ce langage. La cohérence causale par les continuations permet d'assurer qu'une tâche (pouvant être mobile) ne peut observer, indépendamment de sa position géographique instantanée, une valeur obsolète d'une donnée modifiable si auparavant elle en avait observé une valeur plus récente. Afin d'être plus intéressant, ce modèle de mémoire est en cours d'implantation sous la forme d'une bibliothèque, la plus indépendante possible des systèmes d'exploitation, des langages ainsi que de leurs implantations puisqu'il faut faire coopérer un modèle local de mémoire avec le modèle réparti. Les grandes lignes de cette bibliothèque sont décrites dans (Queinnec, 1996a).

Accepter de multiples utilisateurs au sein d'une même mémoire, partageant des modules contenant codes et données, peut s'appuyer sur la notion d'environnement de première classe qui permet de réifier des environnements lexicaux en des valeurs stockables, échangeables voire analysables. Cette technique (Queinnec et De Roure, 1996) permet d'expliquer un certain nombre de phénomènes comme la notion d'environnement extensible sans toutefois imposer des restrictions inadmissibles à la compilation.

La technique d'environnement de première classe peut être notamment mise en œuvre pour formaliser plus précisément le processus de macro-expansion dont la portée et l'instant d'occurrence sont souvent obscurs. Une telle formalisation fondée sur une tour réflexive de macro-expandeurs a été proposée, pour le langage Scheme, en (Queinnec, 1996b).

Contrôler des calculs répartis est le point le plus récemment étudié. En (Moreau and Queinnec, 1997), les auteurs ont montré comment diriger des calculs parallèles et répartis au moyen de leur consommation. Tout calcul prend une certaine énergie pour être mené : un utilisateur cherche donc à maximiser l'importance des résultats qu'il peut obtenir à énergie finie (que l'on pense, par exemple, à une recherche d'informations sur le réseau) ou, symétriquement, à minimiser l'énergie nécessaire pour l'obtention d'un résultat particulier. Contrôler les calculs au moyen de leur consommation, c'est canaliser l'énergie là où les calculs semblent prometteurs. Un jeu de quatre primitives seulement est décrit et peut être mis en œuvre dans tout langage.

Extension de Lustre

M. POUZET

Ce travail est effectué avec P. Caspi de VERIMAG (Grenoble).

Lustre est un langage fonctionnel de premier ordre manipulant des séquences infinies de valeurs (ou flots). Il est apparu intéressant de l'étendre à la pleine fonctionnalité, d'une part pour étudier certaines faiblesses du langage (modularité, compilation séparée, polymorphisme, structures de données,...) et, d'autre part, pour établir les liens entre la programmation synchrone et la programmation d'usage fonctionnelle. P. Caspi et M. Pouzet ont donné une caractérisation co-algébrique du synchronisme correspondant aux programmes de flots (éventuellement d'ordre supérieur) pouvant être compilés en automates. Ils ont également proposé une analyse statique, appelé « calcul d'horloge » permettant de rejeter les programmes non synchrones. Ils ont ensuite proposé une méthode de compilation effective permettant de construire des fonctions de transition pour chaque programme manipulant des flots (Caspi et Pouzet, 1996a, 1996b, Caspi et Pouzet 1998). Cette étude permet de donner un sens synchrone à des programmes d'ordre supérieur ou récursifs (réseaux reconfigurables et extensibles dynamiquement). La restriction aux seuls cas de récursion terminale et de programme de premier ordre permet de définir un langage réactif strictement plus puissant que Lustre.

Depuis octobre 1996, ils travaillent à intégrer ces résultats dans le prototype d'un noyau fonctionnel de langage de suites, appelé Lucid Synchrone et l'activité principale de M. Pouzet en 1997 a consisté à développer une implantation de ce langage. Les résultats obtenus sont les suivants :

- Définition du noyau fonctionnel de flots Lucid Synchrone construit au dessus de Objective Caml;
- Inférence de type à la ML;
- Inférence des horloges, fondée sur l'idée que le calcul d'horloge ressemble à du typage et peut donc être obtenue par une adaptation des méthodes de typage;
- Méthode de compilation compositionnelle basée sur la co-itération produisant des fonctions de transition pour chaque définition. Le compilateur produit un programme Objective Caml.

L'implantation est disponible par ftp anonyme. Elle pourra servir de base pour une intégration en vraie grandeur de flots synchrones dans un langage d'usage général de la famille ML.

Ces résultats ont été exposés à la conférence ICFP96, à CMCS 98 et dans des séminaires (INRIA, BIP, VERIMAG).

Une collaboration est en cours avec le projet A3 dirigé par Christine Eisenbeis autour du travail de thèse de Ping Hu sur les problèmes de compilation pour machines parallèles super-scalaires, à la thèse de M. Pouzet (Pouzet, 1996).

Méthodologie de développement en Ada

V.-L. NGUYEN

V.-L. Nguyen a terminé la rédaction d'un ouvrage sur le langage ADA en rapportant le développement d'un exemple de taille non négligeable, et en produisant la documentation associée selon la méthodologie dite de programmation littéraire. Ainsi, deux textes ont été simultanément construits : l'un lisible par l'homme et l'autre consommable par la machine, à partir d'un texte source unique. Ils ont été ensuite séparés par un outil de composition. L'exemple choisi, l'horoscope chinois, constitue un problème combinatoire de taille non négligeable. Sa programmation a nécessité 30000 lignes Ada épurées de tous commentaires. Elle a permis d'illustrer les concepts de modularité, objet, concurrence, et de proposer une approche méthodologique au développement de logiciel.

Développement d'outils d'aide à la preuve

G. ALEXANDRE, N. CHABANNE, P. MANOURY, A. SAIBI

Les théories des types sont des alternatives possibles à la théorie des ensembles pour la formalisation des mathématiques, notamment des mathématiques constructives. Plusieurs systèmes de preuves reposent sur des théories de types (Coq, LEGO, NuPRL et ALF) et sont bien utilisés pour la certification de systèmes, mais les mathématiciens s'en servent relativement peu car les langages de ces prouveurs diffèrent beaucoup du langage mathématique, les énoncés et les preuves sont de taille importante, difficiles à lire et il faut expliciter toutes les étapes du raisonnement. On retrouve là les difficultés de la certification des systèmes. Pour y remédier, les prouveurs permettent de nommer des énoncés (définitions) et offrent des tactiques, permettant d'enchaîner plusieurs étapes de preuves. Ces tactiques peuvent être composées, conduisant ainsi à des tactiques sophistiquées implantant des procédures de décision, par exemple, pour des fragments décidables d'arithmétique ou du calcul des prédicats.

Dans sa thèse (débutée à l'INRIA, sous la direction de G. Huet) qui sera soutenue en septembre 1998, A. Saibi a construit des outils facilitant la formalisation et les a testés en formalisant la théorie des catégories, avec un résultat tout à fait positif. Bien que réalisés pour le prouveur Coq, ces outils peuvent être adaptés à d'autres systèmes de preuves et conviennent à tout développement mathématique ou informatique. Ces outils se divisent en deux familles.

La première famille fournit deux outils de modélisation, qui conservent la théorie du prouveur et ne changent que le langage des termes, qui devient plus proche du langage mathématique habituel. Ils s'accompagnent donc d'une fonction de traduction du nouveau langage vers le langage officiel, fondée sur un algorithme d'inférence de type et qui a été prouvée correcte. Le premier outil consiste en un mécanisme d'héritage (Saibi, 1997), géré par l'introduction de conversions implicites entre différentes familles d'entités (fonctions et foncteurs, types et sous-types, etc.). Le second outil permet de laisser des arguments implicites. Il effectue donc la synthèse d'arguments, notamment pour les abstractions et les

quantifications universelles et il repose sur une version améliorée de l'algorithme d'unification sachant mieux gérer les enregistrements. Un papier décrivant ce travail est en cours de soumission.

La seconde famille fournit des outils de démonstration. En s'appuyant sur les travaux de Jackson pour Nuprl, A. Saibi a implémenté pour Coq un paquetage de réécriture multi-relations. L'utilisateur dispose de nouvelles tactiques, qu'il peut combiner pour définir ses propres stratégies de simplification. Ce travail a été repris dans les systèmes HOL, Isabelle et Nuprl.

A. Saibi a effectué la première formalisation d'une partie importante de la théorie des catégories dans une théorie des types intensionnelle (Coq). Cette théorie est à la base d'outils sémantiques pour la programmation, les bases de données, etc. Le développement (adjonctions, théorème de Freyd, etc.) est l'objet d'une monographie, dont une version préliminaire est disponible sur le réseau (Saibi, 1997a). A. Saibi a présenté ses travaux dans différentes conférences (TPHOL96, Types'96, POPL'97, JFLA97) et dans plusieurs séminaires.

Le travail de thèse de N. Chabanne porte aussi sur le développement d'outils de modélisation et de démonstration en Coq pour la réécriture. S'appuyant sur le développement de la catégorie des setoïdes effectué par A. Saibi, N. Chabanne a défini les notions classiques des algèbres homogènes : termes, substitution, théories, et fait la preuve des propriétés les plus utilisées. Son travail se poursuit par la définition de la réécriture, le but étant de comprendre comment disposer d'un outil générique implantant l'algorithme de Knuth-Bendix.

Le sujet de thèse (direction conjointe T. Hardin et D. Lazard) de G. Alexandre a porté sur la faisabilité d'une interface entre un langage de calcul formel, A# (dérivé de Axiom), et un prouveur, Coq. A# dispose d'un système très riche de modules, permettant de classifier finement les structures algébriques manipulées (groupes, versus groupes abéliens, par exemple) mais n'offre aucune possibilité de contrôle de cette classification. Par exemple, l'utilisateur de A# doit s'assurer lui-même de la commutativité de son opération, lorsqu'il s'en sert pour instancier le module des groupes abéliens. Si ce trait ne pose aucun problème à un mathématicien averti, cela peut conduire des utilisateurs moins chevronnés à des erreurs sémantiques graves. D'où l'idée du couplage d'un tel langage de calcul formel avec un prouveur, afin de valider chaque étape de développement. Dans ce cadre, une preuve faite informellement en mathématiques serait donc à rejouer à l'aide d'un prouveur. Toute la difficulté consiste à choisir les notions primitives qui vont permettre d'abord de mener cette preuve à bien et ensuite d'utiliser le lemme ainsi démontré pour prouver d'autres résultats. Des hypothèses fortes faciliteront certes la preuve du lemme mais ces hypothèses devront être établies à chaque utilisation du lemme. Toute preuve informelle doit donc être relue et refaite de manière à minimiser les hypothèses.

La réalisation (au moins en partie) de cette thèse soutenue janvier 1998, a nécessité le codage en Coq des théories mathématiques qui servent de prémisses au calcul formel. Le travail a débuté par le choix du codage des ensembles (par une théorie axiomatique) et son implantation en Coq. Par analyse des preuves de résultats classiques sur les ensembles, a été définie et implémentée une stratégie de recherche automatique de preuves pour des énoncés s'inscrivant dans le cadre de cette théorie axiomatique. Elle a été étendue en tactiques utilisables pour une théorie axiomatique quelconque. Cette partie du travail a été effectuée en collaboration avec P. Manoury (Alexandre et Manoury, 1996). Un certain nombre de théories ont alors été développées (ensembles ordonnés, semi-groupes, etc.), de façon à disposer d'une petite hiérarchie de théories se superposant à la hiérarchie des modules de

A#. La communication entre les deux mondes a été conçue en traitant quelques exemples. Un prototype a été réalisé. Le travail de thèse de G. Alexandre a permis la mise en place du projet FOC décrit plus loin.

La terminaison des programmes est une propriété requise pour une grande majorité des programmes. En termes logico-mathématiques, le problème de la terminaison récursives. Les logiciens du début de ce siècle ont élaboré un cadre précis pour définir les fonctions effectivement calculables. Mais le défaut, pour l'informaticien, de ce cadre est qu'il ne donne pas de caractérisation intentionnelle suffisamment riche de ce qu'est une fonction bien fondée : beaucoup d'algorithmes pourtant corrects n'entrent pas directement dans les schémas posés. Nous avons avec M. Simonot décrit une famille de schémas de définitions récursives et donné un critère syntaxique simple de reconnaissance utilisant le filtrage du second ordre.

Méthodologie, études de cas

E. GUREGHIAN, K. HAVELUND, B. MAMMASS, P. MANOURY

P. Manoury a effectué une étude de cas portant sur la spécification fonctionnelle et la preuve de correction d'une famille d'algorithmes de tri. Cette étude s'est traduite par 4000 lignes de script Coq ainsi qu'un rapport de recherche (Manoury, 1996) dans lequel l'accent est mis sur le lien étroit entre la structure des itérateurs mis en œuvre dans la définition des algorithmes et la structure inductive de leur preuve de correction. En particulier, la structure des itérateurs fournit une intuition précise des invariances nécessaires à la preuve de correction.

P. Manoury a aussi effectué une étude de cas pour le contrat d'étude avec la DER/EDF. Il a pour but de développer à l'aide de l'outil Larch Prover la preuve formelle de la spécification algébrique d'un programme de « calcul de répartition dans l'approximant du courant continu ». Cette spécification validée sera alors raffinée en un programme codé dans un langage de haut niveau reposant sur des concepts ensemblistes : DESCARTES. En prouvant la correction de ce raffinement, on pourra valider l'implémentation de la spécification algébrique.

K. Havelund a rejoint le groupe PI en janvier 1995 en tant que boursier post-doctoral HCM. Il est, depuis janvier 1997, employé permanent à la NASA. Son sujet de thèse, portant sur la sémantique de la concurrence, l'a amené à considérer les interactions entre la logique classique et la logique temporelle intervenant dans les preuves de correction de protocole. Il a étudié comment utiliser la logique d'ordre supérieur du système PVS (développé au SRI, Menlo Park, Californie par J. Rushby and N. Shankar) pour vérifier des systèmes parallèles et distribués. Le résultat est une collection d'expériences, publiées dans trois rapports de recherche et deux articles (Havelund and Shankar, 1996a, 1996b) écrits en collaboration avec N. Shankar. Une première expérience a porté sur le Bounded Retransmission Protocol (BRP), protocole utilisé par Philips Electronics, déjà vérifié avec Coq par des chercheurs de Philips (preuve très longue). L'espace d'état du BRP est infini et il ne se prête donc pas aux techniques de vérification. K. Havelund a défini une méthodologie de preuve, qui utilise le prouveur pour ramener la preuve de correction à celle d'un protocole d'état fini, pouvant être obtenue par vérification. La preuve a été faite en utilisant le couplage entre PVS et Murphy. Ce travail est un des points de constitution du sujet de thèse de B. Mammass.

La seconde expérience a porté sur la preuve de correction d'un ramasse-miettes (GC). Elle fut menée de deux manières : tout d'abord, en montrant directement la sûreté du processus, puis en établissant une relation de raffinement entre une formulation abstraite de la sûreté et l'implantation, fondée sur les classes de raffinement de Lamport. La troisième expérience a

porté sur des systèmes hybrides (un espace d'états discret et un espace d'états continu), en utilisant l'outil de vérification HyTech. En conclusion de ces expériences, apparaît la nécessité d'automatiser le plus possible l'utilisation des prouveurs, en ajoutant des procédures de décision, en couplant les prouveurs avec des outils de vérification, et en ajoutant des outils linguistiques de manipulation de données.

B. Mammass travaille sur la spécification et la certification de protocoles, particulièrement sur leur décomposition modulaire, autorisant la réutilisation de spécifications/certifications déjà établies. Il a d'abord effectué un imposant travail de bibliographie sur la modélisation par objets des protocoles, puis sur les langages formels de description de processus (en particulier, sur le pi-calcul de Milner), enfin sur les travaux de C.B. Jones qui établissent des liens entre cette modélisation orientée-objet et ces langages de processus. Parallèlement, il a étudié plusieurs formalisations du protocole BRP, menées dans des langages très différents (B, PVS, Coq, etc.), avec des approches très différentes (combinaison de preuve et de validation, raffinement, etc.). Il en a conclu que les techniques objet, intéressantes pour la conception, ne sont pas encore suffisamment formalisées pour la certification. Le pi-calcul, introduit par Milner en 1989, sert à modéliser les réseaux de processus mobiles et permet d'exprimer la spécification, l'implantation et les propriétés de protocoles. Cette théorie a été largement étudiée d'un point de vue théorique. Il reste à montrer la pertinence de son utilisation «sur le terrain» donc comprendre comment coder une description informelle d'un protocole en pi-calcul et comment mener la preuve que le protocole répond bien à sa spécification. Il faut donc traiter des exemples de taille raisonnable et tenter de dégager des règles méthodologiques, les tester et construire les outils (au moins, les prototypes) venant étayer les choix effectués. B. Mammass travaille sur ce problème de méthodologie. Il a déjà réalisé complètement une implantation du protocole BRP offrant une vue abstraite (la spécification), une vue concrète (une implantation) et la preuve (prenant quelques dizaines de pages) de la complète adéquation entre les deux vues. Il a ainsi bien mesuré comment la réalisation de la preuve l'amenait à reconsidérer son implémentation et il a de plus proposé une décomposition modulaire de ce protocole. Celle-ci avait déjà été suggérée par des travaux de spécification de protocoles menés au sein de notre groupe BIP, par L. Thiet, V. Donzeau-Gouge et J.-R. Abrial, qui eux, spécifient dans le système B. La confrontation de ces deux approches devrait être fructueuse.

B. Mammass a commencé une collaboration avec K. Larsen de l'Université d'Aalborg (Danemark) portant sur la réalisation de preuves de protocoles à l'aide de CCS modal.

E. Gureghian, qui effectue sa thèse dans la société Bertin, travaille sur l'expression des propriétés que doivent vérifier les logiciels, dans le cadre de la certification ITSEC. Il a d'abord étudié un système formel simple (la logique de Hoare) afin de disposer d'une base commune à l'ensemble des méthodes formelles qu'il souhaite utiliser (Gureghian, 1997) et réalisé une implantation d'un outil d'aide à la preuve fondé sur ce système. Puis deux directions de recherche ont été explorées. D'une part, dans le cadre des ITSEC, il est impératif de bien exprimer tout autant la spécification du système d'information considéré que les propriétés de sécurité auxquelles il est sensé répondre. Ce problème a été abordé en étudiant quelques algorithmes cryptographiques. D'autre part, E. Gureghian s'est intéressé à la rétro-ingénierie de code Fortran préexistant, dans le but de prouver un code écrit dans un langage aussi proche que possible de Fortran, en utilisant les outils d'aide à la preuve qu'il a développés.

Langages de substitution explicite

T. HARDIN, B. PAGANO

Le lambda-calcul est souvent utilisé pour modéliser la partie fonctionnelle des langages de programmation car il offre un mécanisme d'abstraction (construction de fonctions), un

mécanisme d'application (d'une fonction à ses paramètres effectifs) et une règle de calcul, la beta-réduction. On étudie ainsi les stratégies de passage de paramètres, la récursivité, etc. Mais on ne peut pas détailler la percolation des valeurs effectives (portée et capture) dans le corps de la fonction car l'opération correspondante de substitution n'est décrite que dans le méta-langage. D'où la demande, émanant de rédacteurs de compilateurs, d'un langage où la substitution serait décrite pas-à-pas, permettant ainsi la spécification précise des compilateurs. Les langages de substitution explicite modélisent la substitution d'ordre supérieur, c'est-à-dire la substitution en présence de lieurs. T. Hardin a fortement contribué à la définition et l'étude des propriétés syntaxiques de ces langages appelés lambda-sigma-calculs, en collaboration avec P.-L. Curien et J.-J. Lévy (Curien, Hardin, Lévy, 1996) et Rios (Curien, Hardin, Rios, 1996).

T. Hardin et B. Pagano, en collaboration avec L. Maranget (INRIA), ont montré que les calculs avec substitutions explicites permettent la description unifiée de la compilation des langages fonctionnels et ont fait la première preuve de correction de la Functional Abstract Machine de Cardelli, qui sert de cadre à beaucoup d'implantations de langages fonctionnels. Ce travail a été présenté à ICFP96 (Hardin, Maranget et al., 1996). Une version étendue est acceptée pour publication en 1997 dans le Journal of Functional Programming.

B. Pagano a montré que les calculs avec substitution explicite pouvaient être étendus par des systèmes de réécriture du premier ordre, modélisant donc les types de données, sans perte de la propriété de confluence. Il a prolongé ce travail en utilisant les substitutions explicites pour définir des systèmes de réécritures d'ordre supérieur. Ce formalisme, baptisé XRS, permet d'ajouter au lambda-sigma-calcul des lieurs quelconques et d'affiner les conditions de réécriture. Un article a été accepté à CADE'98.

B. Pagano a exploré les liens unissant le lambda-sigma-calcul et les systèmes de déduction logique. En prolongeant l'isomorphisme de Curry-Howard, il a défini un système de déduction où l'opération « d'élimination des coupures » devient un mécanisme de réécriture du premier ordre, atomique et confluent sur les preuves contenant des « trous ». Ce travail a été présenté par Thérèse Hardin à WESTAPP 98.

L'unification d'ordre supérieur, qui repose sur la substitution, est l'outil essentiel des systèmes d'aide à la preuve fondés sur les systèmes de type (Coq, Alf, Nuprl, Elf, etc.). T. Hardin a défini un algorithme d'unification équationnelle pour le lambda-sigma-calcul et un algorithme d'unification d'ordre supérieur, s'appuyant sur cette unification équationnelle en collaboration avec G. Dowek et C. Kirchner (INRIA). Une version étendue est acceptée pour publication en 1997 dans le Journal of Information and Computation. Elle a fourni la preuve du caractère unitaire de l'unification d'ordre supérieur limitée aux lambda-sigma-termes du second ordre, en collaboration avec G. Dowek, C. Kirchner, F. Pfenning (CMU). Ce travail a été présenté à IJCSLP96 (Dowek, Hardin et al., 1996).

T. Hardin a été invitée à exposer ses travaux sur les substitutions explicites à la conférence "Symposium on Type Theory and Term Rewriting" à l'Université de Glasgow, en septembre 1996. Elle a aussi été invitée à le faire en mars 1998 au workshop WESTAP 98, satellite de RTA 98 à Tsukuba (Japon).

Sûreté de fonctionnement

T. HARDIN, P. MANOURY, M. POUZET

Depuis janvier 1997, T. Hardin, P. Manoury, M. Pouzet collaborent avec la société SURLOG dans le domaine de la sûreté de fonctionnement. Sur la spécification et la preuve formelle d'un logiciel d'expertise de code destiné à en évaluer la fiabilité.

Livre (1)

- Queinnec C.** *Lisp in Small Pieces*, Cambridge University Press. (1996b),
Nguyen VL. *Exploration exhaustive d'un problème combinatoire. Une implantation en Ada 95. A paraître en 1998.*

Publications parues dans des revues, notoriété importante (2)

- Curien P.-L., **T. Hardin**, A. Rios, *Strong Normalizations of Substitutions.* Journal of Logic and Computation 6(6) (1996) pp 799-817.
Curien P.-L., **T. Hardin**, J.-J. Lévy, *Confluence Properties of Weak and Strong Calculi of Explicit Substitutions.* Journal of the ACM 43(2) (1996a) pp362-397.
Queinnec C., Fast and Compact Dispatching for Dynamic Object-Oriented Languages. Information Processing Letter (1998) 64(6) pp 315-321 volume 64.

Publications parues dans des revues, notoriété courante (4)

- Pagano B.**, *Bi-simulations de machines abstraites en lambda-sigma calcul.* Technique et Science Informatiques, 15 (1996) pp 953-975.
Pouzet M., *Une présentation fonctionnelle de la compaction de code,* Techniques et Sciences Informatiques (TSI) (1996) 15.
Queinnec C. and P. Weis, *Programmation applicative, état des lieux et perspectives.* Technique et science informatiques 15(7) (1996) pp 1009-1013.

Publications parues dans des actes de congrès ou des ouvrages de synthèse, notoriété importante (10)

- Caspi P. and **Pouzet M.**, *Synchronous Kahn Networks.*, Proceedings of ICFP'96, ACM SIGPLAN International Conference on Functional Programming, Philadelphia (1996).
Dowek G., **Hardin T.**, et al., *Unification via Explicit Substitutions: The Case of Higher-Order Patterns*, International Joint Conference and Symposium on Logic Programming, Bonn, sept. 96 (1996).
Hardin T., **Pagano B.**, Maranget L. et al., *Functional Back-Ends within the Lambda-Sigma Calculus.* Proceedings of ICFP'96, ACM SIGPLAN International Conference on Functional Programming, Philadelphia(1996).
Havelund K. and Shankar N., *Experiments in Theorem Proving and Model Checking for Protocol Verification.* Proceedings of: Formal Methods Europe, Oxford, (FME'96), Lecture Notes in Computer Science 1051 (1996).
Moreau L., **Queinnec C.** Distributed Computations Driven by Resource Consumption. ICCL 98, IEEE International Conference on Computer Languages (1998) pp 68-77.
Pagano B., XRS : explicit Reduction Systems, a first-order calculus for higher-order calculi. CADE'98, conference on Automated Deduction. Juin 1998.
Pouzet M., *Using the Parallel Complexity of Programs to Improve Compaction.* IEEE International Conference on Parallel Architectures and Compilation Techniques (PACT), Boston (1996).

- Queinnec C.** and Roure D. D., *Sharing Code through First-class Environments.*, Proceedings of ICFP'96, ACM SIGPLAN International Conference on Functional Programming (1996) pp 251-261.
- Queinnec C.** Design and Semantics of quantum : a Language to Control Resource Consumption in Distributed Computing. Usenix Conference on Domain Specific Language, DSL'97. (1997) pp 183-197.
- Saibi A.**, *Typing algorithm in type theory with inheritance.* POPL '97 - Twenty-fourth Annual ACM symposium on Principles of Programming Languages (1997) pp 292-301.

Publications parues dans des actes de congrès ou des ouvrages de synthèse, notoriété courante (6)

- Caspi P. and **Pouzet M.**, *Réseaux de Kahn Synchrones.* Actes des JFLA 96, Journées Francophones des Langages Applicatifs (1996a).
- Caspi P and **Pouzet M.** A Co-iterative Characterisation of Synchronous Stream Functions. Coalgebraic Methods in Computer Science (CMCS'98), Electronic Notes in Theoretical Computer Science, vol 11. Une version étendue est disponible comme rapport de recherche VERIMAG (97-07).
- Queinnec C.**, *Macroexpansion Reflective Tower.* Proceedings of the Reflection'96 Conference. G. Kiczales (1996) pp 93-104.
- Queinnec C.**, *Bribes de Dmeroon.* Actes des journées de recherche sur la Mémoire Partagée Répartie, MPR 96. C. Toinard (1996) pp 51-56.
- Queinnec C.**, Sérialisation de sérialisation en dmeroon. NOTERE 97, Colloque international sur les Nouvelles Technologies de la Répartition (1997) pp 333-346.
- Queinnec C.**, Distributed Generic Functions. Second France-Japan workshop on Object-Based Parallel and Distributed Computing, OBPDC'97 (1997)
- Manoury P.** and Pierre L., It Toward a joint use of Algebraic Specifications and Program Synthetis, accepté à IASTED international Conference, Artificial Intelligence and Soft Computing, May 27-30, 1998.
- Manoury P.** Simonot. M., A family of recursive schemas, Formal models of Programming and their Applications, Sept. 17-20 1997, Beijing.
- Pagano B.**, An Explicit Natural Deduction WESTAPP 98, Workshop on explicit substitutions : Theory and applications 10 programs and proofs. Mars 1998.
- Saibi A.**, *Réécriture dans Coq.* Actes des JFLA 97, Journées Francophones des Langages Applicatifs, M. Gengler (1997).
- Saura T.**, *Vérification dynamique de types avec des données C: application à un évaluateur Scheme.* JFLA 97, Journées Francophones des Langages Applicatifs. M. Gengler (1997) pp 229-240.

Brevets, logiciels (distribués par ftp) (2)

- Pouzet M.**, Lucid Synchrones (une extension à la ML de Lustre).
ftp://spi.lip6.fr/pub/lucid-synchrone
- Queinnec C.**, Meroon V3, Système d'objets à la CLOS pour Scheme,
ftp://ftp.inria.fr/INRIA/Projects/icsla/Programs/MeroonV3*.tar.gz
environ 250 connexions/an.
- Queinnec C.**, LiSP2TeX, Outil de programmation littéraire,
ftp://ftp.inria.fr/INRIA/Projects/icsla/Programs/LiSP2TeX*.tar.gz
environ 120 connexions/an.

Divers et rapports de recherche (9)

- Alexandre G.** and **Manoury P.**, An heuristic for axiomatic theories: the case of Zermelo set theory (15) (1996). RR/IBP

- Cornes C., **Manoury P.**, **Saibi A.**, et al., The Coq Proof Assistant Reference Manual (1996). RR/INRIA
- Dowek G., **Hardin T.**, et al., Higher-order unification via explicit substitutions, RR/INRIA(1995).
- Dowek G., **Hardin T.**, Kirchner C., Theorem Proving modulo, RR/INRIA/3400 (1998)
- Gureghian E.**, Rapport ANRT (1997).
- T. Hardin and Mammass B.** Yet Yet on the Bounded Retransmission Protocol (1998-010)
- Havelund K.** and Shankar N., Experiments in Theorem Proving and Model Checking for Protocol Verification, LITP (1995).
- Havelund K.**, Mechanical Verification of a Garbage Collector, LITP (1996).
- Mammass B.** La méthode Cliff Jones Orientée Objet pour le Développement Formel de Programmes Concurrents LIP6 (1998-008).
- Mammass B.** Une preuve formelle du Bounded Retransmission Protocol dans le pi-calcul LIP6 (1998-009).
- Manoury P.**, Preuves de correction de programmes fonctionnels de tris dans le système Coq, LITP (22) (1996).
- Moreau L. and **Queinnec C.**, On the Finiteness of Resources in Distributed Computing, RR/INRIA/4137 (1997).
- Queinnec C.**, DMEROON a Distributed Class-based Causally-Coherent Data model, General documentation. LIP6 (1998)
- Saibi A.**, Une axiomatisation constructive de la théorie des catégories (1997a).

Animation de la recherche

Rédacteur de revues et membres de comités de lecture

- Hardin T.**,
 – TSI (comité de rédaction).
- Queinnec C.**,
 – TSI (jusqu'au 1/1/97) (comité de rédaction).

Editeur d'actes de congrès ou d'ouvrages collectifs

- Hardin T.**,
 – Numéro spécial de TSI sur la programmation fonctionnelle (vol. 15, 1996) (Co-rédactrice en chef, avec V. Vigié Donzeau-Gouge)

Organisation scientifique de congrès et colloques

- Hardin T.**,
 – Journée de l'Institut Blaise Pascal sur le système d'aide à la preuve PVS, 1995, avec la collaboration de J. Rushby, directeur du projet PVS au SRI (Menlo Park, USA).
 – Journées B de Nantes, 1996 (co-organisé par le groupe PI)
 – Groupe de travail du GDR AMI sur les substitutions explicites, 1997.1998 UMPC
- Queinnec C.**,
 – Conférence ICFP 98.
- Manoury P.**,
 – Rencontre INTAS 97 à l'université de Corte sur le thème « Automated Reasoning and logic for Computer Science » du 22 Octobre 1997.

Membre de comité de programme ou de comité scientifique d'un congrès

Queinnec C.,

- Conférence PSLs "Parallel and Symbolic Languages and Systems", Beaune, 1995
- MPR 96, Mémoire partagée répartie, Bordeaux, mai 96
- CW 97, Continuation workshop, Paris, janvier 97
- PLILP 97, Programming Language: Implementation and Logic Programming, Southampton, 1997

Organisation de séminaires

Hardin T.,

Séminaires des groupes PI et BIP, en collaboration avec V. Viguié Donzeau-Gouge. Ces séminaires d'une journée portent sur la certification du logiciel. A part les présentations des travaux en cours dans le groupe, ont eu lieu :

- exposés de présentation de systèmes (Coq, B, PVS),
- rapports d'expérience avec des prouveurs : protocoles de communication (Abrial, Havelund, Mussat, Natkin), protocoles cryptographiques (Bolignano, Menissier-Morain), algorithmes (Dubois, Manoury),
- exposés sur des méthodes de formalisation : spécifications algébriques (Bernot, Viguié), outils de démonstration automatique (Dowek, Kirchner), substitutions explicites (Hardin, Pagano), langages d'ordre supérieur (Dowek, Simonot), temps-réel (Caspi, Pouzet, Olivier) et sur leur mise en œuvre (Lopez, Alexandre),
- exposés sur la conception d'outils pour les prouveurs (Burdy, Manoury, Alexandre, Boutin, Cornes, Munoz, Saibi).

Formation par la recherche

Thèses (2)

Alexandre G., De Aldor à Zermalo, Thèse d'université, UPMC, 02/02/1998, encadrée par T. Hardin et D. Lazard

Pagano B., Des calculs de substitution explicite et de leur application à la compilation des langages fonctionnels, Thèse d'université, UPMC, 29/01/98 encadrée par T. Hardin

Projets et contrats

Participation aux grands programmes de recherche nationaux

GDR-PRC de Programmation

- Parallélisme et distribution (C. Queinnec, membre du comité de direction et responsable du pôle)

GDR-PRC AMI

- groupe de recherche en réécriture (Hardin T., Pagano B.)

GDR - ALP (T. Hardin, C. Queinnec)

Contrats industriels

Société Bertin [Conseil en certification du logiciel]

Responsable scientifique : T. Hardin, durée : 03/95-03/98, financement : 120kF

Contrat lié à une bourse CIFRE.

CEA [Conseil en sémantique de langages de programmation]
Responsable scientifique : C. Queinnec, durée : 1997-1998, financement :
200 kF.
Développement de langages de commande interprétés pour mise en œuvre de
bibliothèques de programmes numériques.

DER/EDF (contrat d'étude)
Responsable scientifique : P. Manoury, durée 1997-1998, financement: 150 KF

Contrats internationaux

CONFER (ESPRIT-BRA)
Participant : T. Hardin, durée : 1996
Ce projet ESPRIT, porte sur l'étude de la sémantique et l'implantation des
processus mobiles.

VIM (Virtual Multicomputer)
Participant : C. Queinnec, durée : 1996-1997
Réseau HCM piloté par l'université de Bath.

Objets et Agents pour Systèmes d'Information et de Simulation

Briot Jean-Pierre¹

Blain Gilles
Cardon Alain
Collinot Anne
Doucet Anne
Drogoul Alexis
Ferber Jacques²
Gançarski Stéphane
Meyer Jean-Arcady³
Pachet François⁴
Paliès Odile
Perrot Jean-François
Ziane Mikal

Personnel temporaire

Guessoum Zahia
Lhuillier Marc
Monties Sophie
Slodzian Aurélien

Doctorants présents 80% du temps au LIP6

Hutzler Guillaume (Drogoul, 96)
Lalande Steffen (Briot/Ferber, 93)
Lesueur Bruno (Blain, 95)
Liret Anne (Pachet, 96)
Martini Bigolin Nara (Doucet, 95)
Picault Sébastien (Collinot, 97)

Doctorants présents moins de 80% du temps au LIP6

Carrive Jean (Pachet, 97)
Chikhi Yasmina (Pachet, 95)
Couchot Alain (Doucet, 95)
Delerue Olivier (Assayag/Pachet, 97)

Associés au LIP6

Carle Patrice
Gaiti Dominique
Gortais Bernard
Huet Bernard
Laublet Philippe
Rousseaux Francis
Sahraoui Houari
Trannois Harold
Vaudène Didier
Wolinski Francis

Chargé de Recherche, HDR, CNRS

Maître de Conférences, UPMC
Professeur, IUT Le Havre
Chargée de Recherche, CNRS
Professeur, UPMC
Maître de Conférences, UPMC
Professeur, UPMC
Maître de Conférences, UPMC
Directeur de Recherche, CNRS
Maître de Conférences, HDR, UPMC
Maître de Conférences, UPMC
Professeur, UPMC
Maître de Conférences, Paris 5/IUT

ATER, UPMC

Post-doc

ATER, Paris 12

Post-doc

Roy Pierre (Pachet, 95)

Servat David (Drogoul/Perrier, 97)

Sunyé Gerson (Blain, 94)

Urbano Paulo⁵ (Drogoul/Coelho, 97)

Yoo Min Jung (Briot/Ferber, 95)

Kaplan Frédéric (Drogoul/Steels, 97)

Merlat Walter (Briot/Ferber, 94)

Rémy Stéphane (Collinot, 97)

Ingénieur, ONERA

Professeur, Université de Technologie de Troyes

Peintre informaticien, Centre culturel de Puteaux

Professeur, Université Paris XIII

Maître de Conférences, Université Paris 4

Professeur, Université de Reims

Chercheur, CRIM Montréal (Québec)

ATER, Univ. de Picardie Jules Verne, INSSET

Maître de Conf., UPMC, Collège de philosophie

Responsable R&D, Informatique CDC

¹ arrivé au LAFORIA au 01/04/96

² mutation à l'université de Montpellier le 1/9/96

³ en stage au LIP6 pour un an à compter du 1/1/98 ; son équipe rejoindra OASIS à l'automne 98

⁴ en disponibilité chez Sony CSL depuis le 1/10/97

⁵ stagiaire de l'université de Lisbonne. Thèse en co-tutelle en cours de signature

L'émergence des réseaux d'information à grande échelle est en train de changer fondamentalement la manière dont nous considérons les programmes et les connaissances. Ils deviennent fortement décentralisés et structurés en modules et services. De plus la frontière traditionnelle entre données et connaissances, ainsi qu'entre programmation et représentation de connaissances, tend à s'estomper. Les logiciels deviennent en effet de plus en plus complexes et intègrent de manière intime des techniques venant du génie logiciel, de l'intelligence artificielle, des bases de données, et de la programmation répartie. Nous citerons à titre d'exemples : les agents mobiles sur le réseau, la fouille de données, et enfin les communautés de robots coopératifs.

Le thème Objets et Agents pour Systèmes d'Information et de Simulation (OASIS) a pour ambition d'aborder la conception de tels logiciels hybrides et évolutifs, et de contribuer à l'avancée des connaissances et des expériences dans le domaine des systèmes de traitement d'information à grande échelle. Schématiquement nous pouvons définir notre thème comme se situant à la croisée de trois axes : (1) modélisation et programmation, (2) représentation de données et de connaissances et leur traitement, et enfin (3) coopération et répartition. De ce fait notre thème est fortement interdisciplinaire et regroupe des compétences en matière de : modélisation et programmation, bases de données, représentation de connaissances (IA), systèmes coopératifs (multi-agents), et enfin vie artificielle. Cette dernière composante s'impose à nous car nous sommes convaincus qu'il existe encore un immense potentiel pour la transposition de caractéristiques de systèmes naturels (biologiques, éthologiques, sociologiques...) à des métaphores technologiques adaptées à la complexité et aux capacités d'évolution croissantes des systèmes informatiques du futur. Des exemples sont l'application de la métaphore des sociétés de fourmis à l'évolution d'un réseau de pages Web, et l'application d'une métaphore de l'évolution naturelle à l'optimisation du comportement de robots. Notre thème de recherche intégrera d'ailleurs dès septembre 1998 une équipe confirmée dans ce domaine : l'AnimatLab du département de biologie de l'ENS-Paris, dirigé par Jean-Arcady Meyer.

Notre modèle de structuration de base pour les logiciels hybrides est celui d'entité modulaire et autonome, appelée *objet*, *acteur*, *agent*, ou encore *animat*, suivant le niveau de conception ou de réalisation où l'on se place. Mais notre grain de structuration en vue des applications est beaucoup plus large et consiste en des architectures logicielles génériques appelées *frameworks*, qui permettent un grand degré de réutilisation. Nous avons ainsi déjà développé un certain nombre de frameworks : programmation concurrente, programmation par règles, par contraintes, par agents, etc., qui ont été appliqués à divers problèmes réels. Pour ce faire, il nous faut également définir de nouvelles méthodologies de conception et d'utilisation adaptées aux nouvelles technologies, autant que possible par évolution ou encore par complémentarité des méthodologies déjà existantes.

Ainsi un projet vertical à notre thème est le couplage de trois projets développés à l'origine de manière distincte : une méthodologie de conception adaptée aux systèmes coopératifs de type multi-agent (CASSIOPEE), un atelier de méta-modélisation (MetaGen), et une plateforme d'exécution d'agents (DIMA). Les premiers résultats ont d'ores et déjà permis la modélisation et la génération automatisée de simulations de modèles macro-économiques, tels que ceux décrits par un économiste de HEC.

Étant interdisciplinaire par vocation, notre thème est également en interaction forte avec d'autres thèmes du laboratoire, et en particulier : le thème APA pour l'intégration de modèles d'apprentissage dans les bases de données (*action apprentissage dans les bases de*

données géographiques) et dans les agents (projet inter-thèmes *Microb2* sur l'apprentissage multi-agents de robots footballeurs), et le thème SRC pour la validation d'agents logiciels et mobiles (projet inter-thèmes *conception et validation d'agents logiciels*, et notre participation à la CTI CNET CARISMA).

Bilan synthétique des recherches

Les activités du thème peuvent être décomposées en quatre groupes : *bases de données*, *méta-modélisation*, *frameworks* et *multi-agents*. Un cinquième groupe, *animats*, nous rejoindra dès septembre 1998.

Groupe bases de données

Les travaux menés dans le groupe bases de données portent sur trois thèmes : la cohérence, les méthodologies de conception et la fouille de données.

La gestion de la cohérence, assurée par les contraintes d'intégrité, est un problème majoritairement traité dans le cadre des bases de données relationnelles, monoversion, mais très peu abordé dans le cadre des bases de données à objets, et dans celui des bases de données multi-version. Nous avons proposé dès 1995 un langage de programmation pour bases de données à objets intégrant une gestion automatique des contraintes d'intégrité. La thèse de P.-Y. Policella (1996) propose un système complet de maintien de la cohérence dans les bases de données orientées à objets, fondé sur ce langage. La thèse de S. Monties, soutenue en octobre 1997, présente un système de vérification de contraintes dans les bases de données multi-versions. Des travaux relatifs à cette thèse ont été publiés dans (Doucet et al., 1996a, Doucet et al., 1996b, Doucet et al., 1996c, Doucet et Monties, 1997).

Dans sa thèse, A. Couchot s'intéresse aux méthodologies de conception pour bases de données actives. Ce travail est mené en collaboration avec la Banque de France, et a débuté lors du dernier trimestre 1996. L'objectif est d'intégrer la conception de règles actives dans les méthodologies. Pour rappel, une règle active est une règle de la forme événement-condition-action. Lorsque l'événement se produit, si la condition est vérifiée, l'action est déclenchée. Les règles actives peuvent être utilisées pour vérifier les contraintes d'intégrité. Un premier modèle, basé sur la communication d'états, est en cours d'élaboration. Ce modèle permet de contrôler les problèmes de terminaison et de confluence des règles actives lors de leur conception.

Les recherches menées par N. Bigolin pour sa thèse concernent l'extraction de connaissances et l'apprentissage dans les bases de données à objets. Nous avons choisi d'étudier ces problèmes dans le cadre des bases de données géographiques. Notre objectif est d'utiliser les techniques d'apprentissage pour permettre l'automatisation de la démarche de généralisation. La généralisation consiste à réduire et à simplifier les données géographiques afin d'établir des cartes d'échelles différentes, tout en conservant des informations précises et correctes. Ces travaux sont menés en collaboration avec l'IGN. Plusieurs tests ont permis de justifier notre approche.

Groupe méta-modélisation

Le groupe Métafor utilise les techniques de méta-modélisation, c'est-à-dire la modélisation explicite des formalismes utilisés dans les activités de modélisation, pour représenter et utiliser les différents types de connaissances mises en œuvre dans le développement d'une application informatique.

Le but est de réaliser des environnements de développement couvrant le plus grand segment possible du cycle de vie. On veut expliciter au mieux les responsabilités des différents acteurs : maître d'œuvre, maître d'ouvrage, experts du domaine, utilisateurs finaux, experts informaticiens des différents frameworks utilisés.

Par ce biais, on projette de fournir à chacun les outils lui permettant d'assumer pleinement sa responsabilité en interférant au minimum avec celle des autres. Pour les interférences incontournables, nous désirons au moins les rendre suffisamment objectives pour que les relations qui en découlent soient correctement contractualisables.

Cette démarche, de par son aspect généraliste, est particulièrement efficace pour définir un champ d'expérimentation naturel des différents outils développés par les autres groupes du thème (NéOpus, BackTalk, DIMA) et par delà, de toutes origines (HotDraw, MPVC, Account, Intersem) (Sunyé et al., 1997).

Nous privilégions toutefois les domaines de la gestion administrative des organismes financiers (projet européen FIBOF), les applications médicales (aide à la gestion des flux informationnels dans l'hôpital : suivi clinique, interface plateau technique, aide à la décision diagnostique ou thérapeutique), les simulateurs multi-agents (systèmes économétriques qualitatifs, opérationnalisation de la méthode de conception multi-agent CASSIOPEE).

Groupe frameworks

Le groupe frameworks a pour objectif général un rapprochement des techniques issues du génie logiciel (modélisation et programmation par objets), de l'intelligence artificielle (représentation et traitement des connaissances) et de la programmation concurrente et répartie. Notre démarche est résolument expérimentale et vise à la conception d'architectures logicielles génériques (frameworks) validées sur différents terrains d'expérimentation.

Nous pouvons regrouper l'activité du groupe frameworks en trois domaines : frameworks hybrides de représentation et traitement des connaissances, frameworks de programmation concurrente et répartie, et frameworks de programmation par agents. Ces différents domaines ne sont pas sans rapport car nous procédons par assemblage et extension de différents frameworks. Le framework multi-agents DIMA (Guessoum, 1996 ; 1998) en est à ce titre un bon exemple.

Les frameworks hybrides de traitement des connaissances reposent sur une intégration de techniques de représentation et de traitement de connaissances (règles de production, contraintes, etc.) et de programmation (par objets). NéOpus est un framework de règles de production du premier ordre parfaitement intégrées à Smalltalk-80. Deux exemples d'application sont un système d'analyse harmonique tonale et le système NéoGanesh de M. Dojat, qui assure la surveillance de malades sous assistance respiratoire à l'hôpital Henri Mondor de Créteil (Dojat et al., 1997). Le framework de résolution de contraintes BackTalk (thèse en cours de P. Roy) représente une approche originale de l'adaptation des techniques de satisfaction de contraintes à l'univers des objets (Roy et al., 1998). Enfin, nous avons récemment reconstruit le système Alice de J.-L. Laurière (1977) avec nos méthodes (thèse en cours d'A. Liret). Sa nouvelle implantation fournit un bon exemple de système complexe mêlant différents paradigmes (réécriture, combinaison de contraintes, propagation dans les graphes) (Liret et al., 1998a). De manière plus générale, ces différentes expériences apportent des éléments de réponse à la question fondamentale de la pertinence du recours au raisonnement " intelligent ", par opposition à la " force brute " des algorithmes : les termes du débat sont renouvelés par les progrès récents de ces derniers.

La conception de frameworks de programmation concurrente et répartie repose sur l'intégration de techniques de programmation concurrente et répartie dans un modèle à objets. Nous avons donc réalisé, en collaboration avec R. Guerraoui de l'EPFL (Lausanne), une analyse en profondeur des enjeux d'une telle intégration (Briot et Guerraoui, 1996a ; Briot et al. 1998). Nous avons également étudié comment un framework de programmation concurrente à objets (Actalk (Briot, 1996)) peut être étendu vers des agents autonomes (le framework multi-agent DIMA (Guessoum et Briot, 1997)), par intégration de frameworks standard (simulation à événements discrets) ou du laboratoire (en particulier le framework de règles de production NéOpus). Un nouveau projet consiste à étudier le couplage de DIMA avec le framework de programmation répartie et résistante aux pannes BAST (conçu par B. Garbinato et R. Guerraoui à l'EPFL). L'idée est de dépasser les architectures à couche, traditionnellement étanches, de manière à faire coopérer le niveau connaissances (raisonnement des agents) avec le niveau protocoles (par application dynamique de protocoles, par ex. de réplication de serveurs) pour constamment adapter le système. Nous comptons appliquer ces idées à la gestion de crises (Cardon, 1997a). Enfin, de manière duale, nous appliquons également des techniques agent à la programmation répartie. En témoignent la conception d'un gestionnaire de configuration d'applications réparties adaptatif (thèse de M. Girard, 1998), et également notre activité en matière d'agents mobiles, introduite au paragraphe suivant.

Un point clé dans la conception de frameworks de programmation par agents repose sur la manière dont on peut décomposer le comportement d'un agent en différents composants spécialisés de manière à assurer la généricité et la flexibilité de l'architecture. Une approche possible, suivie dans le framework DIMA, est de coordonner ces composants de manière centralisée par l'intermédiaire d'un module de supervision explicite. Un autre framework, conçu au départ pour la simulation d'agents réactifs dans des environnements topologiques (MALEVA, thèse de M. Lhuillier, 1998), repose sur un contrôle décentralisé avec un découplage entre les flux de données et de contrôle. Enfin le framework SCD, dédié aux agents mobiles (thèse en cours de M.-J. Yoo), distingue entre composants de comportements internes et composants de coordination externe avec les autres agents (Yoo et al., 1998a). Un des objectifs de SCD est également de vérifier certaines propriétés sur les protocoles de coordination entre agents par l'utilisation de réseaux de Petri (voir le projet inter-thèmes conception et validation d'agents logiciels). Le framework SCD a été intégré à une plate-forme d'agents mobiles développée en Java à l'ONERA (thèse de W. Merlat) (Merlat et Seyrat, 1997).

Groupe multi-agents

Le domaine de recherche de l'intelligence artificielle distribuée et des systèmes multi-agents rassemble les travaux qui portent sur l'étude et la conception d'organisations d'agents (artificiels) autonomes, capables d'agir sur leur environnement physique et/ou social, et de communiquer pour accomplir collectivement une ou plusieurs tâches. Il enrichit le domaine de l'intelligence artificielle en suggérant l'usage de métaphores sociologiques —ayant trait aux notions de coopération, de négociation, de groupe ou d'équipe, etc. —ou biologiques— ayant trait aux notions d'auto-organisation, d'intelligence en essaim, etc.

Notre démarche a consisté à conduire de façon concertée un travail d'analyse (modélisation et simulation) d'organisations naturelles et un travail de conception d'organisations artificielles appliquées à différents domaines (robotique collective, réalité virtuelle, visualisation de données, systèmes distribués).

En terme d'analyse, nous avons développé une technique de simulation qui permet de modéliser des systèmes complexes en représentant directement les individus, leurs comportements et leurs interactions. Cette technique est opérationnelle via la plate-forme de simulation MANTA, construite en collaboration avec des éthologues (Drogoul et Collinot, 1997). Les concepts issus de ce type de techniques de simulation ont également été utilisés pour la génération d'écosystèmes virtuels peuplés de familles de formes et de couleurs, permettant d'envisager de nouveaux types d'interfaces homme-machine, comme dans l'application du Jardin des hasards (Hutzler et al., 1997a ; Hutzler et al., 1997b ; Hutzler et al., 1998a).

En terme de conception, nous avons centré nos efforts sur la réalisation d'équipes de robots autonomes mobiles. La première application, MICROB (Collinot et al., 1996a ; Drogoul et Duhaut, 1996), porte sur l'organisation d'une équipe de robots capables de jouer au football contre une équipe d'autres robots ou de véhicules télécommandés par des joueurs humains. Une première équipe de micro-robots a été réalisée en novembre 1996, et a participé au tournoi MIROSOT'96 en Corée du Sud. Une seconde équipe, composée de robots plus grands, a été réalisée pour le tournoi RoboCup (IJCAI'97) au cours duquel elle s'est classée troisième. Ce travail se poursuit dans le cadre d'un projet inter-thèmes (APA/OASIS).

Ces travaux se sont appuyés sur un même cadre méthodologique, CASSIOPEE, développé dans le groupe (Collinot et al., 1996a ; Collinot et al., 1996b ; Collinot et Drogoul, 1997 ; Drogoul et Collinot, 1998), qui permet d'identifier les structures d'interaction et d'organisation. Cette méthode permet de répondre à un besoin méthodologique spécifique à l'intelligence artificielle distribuée, à savoir la possibilité d'intégrer l'aspect descriptif et opérationnel de l'organisation dès l'étape d'analyse, à la fois pour des raisons d'implantation et de documentation. Ce cadre méthodologique a également permis d'héberger un certain nombre de travaux théoriques, ayant trait notamment à l'apprentissage en univers multi-agents (Aubineau et Lalande, 1997), à la représentation de l'environnement en intelligence artificielle distribuée (Magnin, 1998a), et à l'approche par composants pour la conception d'architectures d'agents.

Groupe animats

L'approche animat recherche dans quelle mesure il est possible de comprendre la cognition humaine en l'abordant dans une perspective évolutionniste. Plus précisément, elle consiste à étudier en quoi l'intelligence de l'homme s'explique à partir des processus adaptatifs les plus simples hérités des animaux. Pour ce faire, elle conçoit ou utilise des animats — c'est-à-dire des animaux simulés sur ordinateur ou des robots autonomes — dont les lois de fonctionnement sont inspirées de la biologie, et qui doivent “ survivre ” dans des environnements plus ou moins imprévisibles et dangereux. De tels animats doivent être équipés de capteurs et d'effecteurs adaptés aux défis que leur pose l'environnement, ainsi que d'une structure de contrôle qui leur permette de choisir quelle action effectuer à quel moment.

La structure de contrôle d'un animat peut être entièrement conçue et câblée par un humain. Elle peut aussi être plus ou moins modifiée, ou même être entièrement générée de façon automatique, au moyen de processus d'apprentissage, de développement ou d'évolution inspirés de la nature.

A la différence de l'approche caractéristique de l'intelligence artificielle traditionnelle — qui tend généralement à immerger dans des environnements simplifiés et contrôlés à l'extrême des programmes qui exhibent une compétence avancée particulière — l'approche animat vise à modéliser des organismes simples, mais entiers, en interaction avec un environnement aussi réaliste que possible, et dans lequel ces organismes doivent résoudre divers problèmes

de survie, éventuellement contradictoires, tels que manger, boire, échapper aux prédateurs, etc. L'approche animat est donc à la fois située et intégrée.

Nos recherches courantes sont organisées autour de quatre domaines principaux : l'étude des interactions entre l'animat et son environnement, l'étude des représentations internes, l'étude de ses mécanismes de sélection d'action et, enfin, l'étude des interactions entre évolution, développement et apprentissage.

Bilan détaillé des recherches

Cohérence de bases de données

A. DOUCET, S. GANÇARSKI, S. MONTIES, P.-Y. POLICELLA

La cohérence dans les bases de données est assurée par les contraintes d'intégrité, qui sont des assertions que doivent vérifier les données de la base. La gestion des contraintes recouvre trois aspects principaux : l'expression des contraintes, la vérification des contraintes par les données de la base et la cohérence des contraintes entre elles. Le maintien de la cohérence pose d'importants problèmes de performances. En effet, les contraintes doivent être vérifiées systématiquement après chaque modification de la base, ce qui, pour des bases moyennes, constitue un coût inacceptable. Afin de réduire ce coût, on peut réduire l'ensemble des contraintes devant être vérifiées après une modification, réduire l'ensemble des données à prendre en compte lors de la vérification, et optimiser les algorithmes de vérification. Le langage Thémis permet de définir les contraintes d'intégrité de façon globale et déclarative, et génère automatiquement des algorithmes de vérification. Dans sa thèse (1996), P.-Y. Policella propose un mécanisme complet de maintien de l'intégrité, comprenant la vérification des contraintes par rapport aux données, la vérification de la cohérence des contraintes entre elles, et un mécanisme de reprise. Une interface permettant d'utiliser ce mécanisme a été implantée au-dessus du système O2.

Dans les bases de données multi-versions, la notion traditionnelle de la cohérence doit être étendue. Les contraintes d'intégrité ne sont plus forcément définies sur un état de la base, mais peuvent impliquer plusieurs états. Une première application directe de l'intégration de versions dans les bases de données est de permettre la gestion de contraintes dynamiques. De nouveaux types de contraintes apparaissent également, comme les contraintes inter-versions, qui permettent de contrôler l'évolution de la base ou les versions de contraintes.

Ce thème a donné lieu à la thèse de S. Monties. Elle a étendu la notion de cohérence à un environnement multi-versions, et a proposé un mécanisme général de maintien de la cohérence prenant en compte les contraintes statiques et dynamiques, définies sur plusieurs états.

Dans un premier temps, nous avons établi une typologie des contraintes dans les bases de données multi-versions, permettant de classer les contraintes selon divers critères, tels que leur portée, les liens qui existent entre les objets, les classes, les versions évoqués dans la contrainte, leur type (statique ou dynamique). Cette classification, présentée dans (Doucet et al., 1996a) nous a permis d'élaborer une bibliothèque d'algorithmes de vérification efficaces, adaptés à chaque nature de contrainte (Doucet et al., 1996b). Nous avons proposé deux extensions à ce système de vérification de contraintes. L'une (Doucet et Monties 1997), étudie différentes représentations de versions de contraintes. L'autre, (Doucet et al., 1996c), permet d'exprimer et de vérifier les contraintes d'intégrité temporelles. En effet, le modèle de versions sur lequel repose notre travail, et qui a fait l'objet de la thèse de S. Gançarski, permet de représenter aisément la notion de temps. Nous avons étudié les

différentes contraintes temporelles et proposé une classification de ces contraintes qui nous permet de définir des méthodes de vérification adaptées. L'étude des contraintes temporelles a mis en évidence la nécessité d'utiliser deux notions de temps, le temps de validité (temps auquel une information est vraie) et le temps de transaction (temps auquel l'information a été stockée dans la base). S. Gañçarski a proposé une implantation d'un modèle bitemporel à l'aide du modèle des versions de bases de données que nous utilisons.

Nous nous intéressons actuellement à la vérification de contraintes d'intégrité dans le cadre de systèmes de transactions évolués (transactions imbriquées, transactions longues, transactions multi-niveaux). Ce travail s'effectue en collaboration avec des chercheurs de l'université de Caracas (Vénézuéla), spécialistes des systèmes de transactions évolués.

Méthodologies de conception de bases de données

A. COUCHOT, A. DOUCET

Dans le but d'intégrer les nouveaux concepts des bases de données aux méthodologies de conception, nous avons défini une méthode de conception de base de données à objets active (intégrant la conception de règles actives) basée sur la communication d'états. L'état global du système à un instant donné résulte de l'interaction entre les états des objets et leurs changements d'états. Cette représentation peut être considérée comme un affinement de méthodes à objet existantes.

Le modèle que nous proposons est basé sur la notion d'objet et d'échanges de messages entre ces objets. Les diagrammes d'interactions d'états, construits à partir de scénarios d'utilisation, permettent de construire les cycles de vie des objets. Les règles actives pourront automatiquement être dérivées à partir des diagrammes structurels, des diagrammes d'interactions d'états et des cycles de vie. L'intérêt majeur de ce modèle est de permettre de déterminer lors de la conception, les risques de non terminaison ou de non-déterminisme. Nous étudions également comment assurer la congruence des règles actives.

Extraction de connaissances dans les bases de données

A. DOUCET, N. MARTINI BIGOLIN, S. GANCARSKI

L'utilisation de techniques d'apprentissage dans les bases de données permet de découvrir des informations implicites et des règles d'association. Notre objectif est d'utiliser ces informations pour aider à l'automatisation du processus de généralisation dans les bases de données géographiques. A l'heure actuelle, la généralisation est effectuée par des experts humains, qui choisissent parmi plusieurs algorithmes de lissage, celui qui doit être appliqué pour chaque donnée géographique concernée. Les règles d'association que nous découvrons à l'aide des techniques d'apprentissage permettent de choisir ces algorithmes de façon automatique.

Plusieurs tests ont été réalisés avec des algorithmes d'apprentissage développés au LAFORIA (Charade), sur un échantillon de données fournies par l'IGN. Les résultats ont été jugés satisfaisants par les experts de l'IGN. Cependant, les algorithmes d'apprentissage fonctionnent sur des structures de données très simples (attribut/valeur) alors que les données géographiques nécessitent des structures beaucoup plus complexes, telles que l'objet. Notre objectif est de permettre l'utilisation d'algorithmes d'apprentissage sur des bases de données orientées objet. Nous cherchons à transformer les structures complexes de l'objet en des structures plus simples, sans toutefois perdre la sémantique inhérente au modèle objet.

Parallèlement à ces travaux, nous avons récemment mis en place au sein du laboratoire un groupe de travail sur les différentes étapes de l'extraction de connaissances et de la fouille de données. Ceci nous a conduit à nous intéresser aux entrepôts de données, aux bases de données multidimensionnelles et aux systèmes OLAP (On Line Analytical Processing). Nous nous intéressons en particulier au maintien de la cohérence dans ce contexte.

Meta-modélisation

G. BLAIN, B. LESUEUR, N. REVAULT, G. SUNYÉ, D. VAUDENE, M. ZIANE

MetaGen (Sunyé, 1997) est un environnement de développement d'atelier de modélisation et de mise en œuvre raisonnée de frameworks qui sert de support privilégié aux activités du groupe MétaFor. Cet environnement a été démarré par G. Blain à partir d'une expérience industrielle réalisée avec la société ACKIA (P. Krief). Depuis début 1996, l'équipe s'est consacrée à deux axes privilégiés : premièrement la maîtrise des moyens d'expression des modélisateurs en multipliant les outils génériques d'édition (esquisses, agrégats, éditeur tabulaire...), deuxièmement la simplification des moyens de production du code. Ce deuxième axe est décrit ci-dessous. Ces deux axes ont abouti à une amélioration de MetaGen suffisante pour qu'il devienne l'outil privilégié des actions de prototypage du projet européen FIBOF. Par ailleurs MetaGen a servi de support à plusieurs projets réalisés par des étudiants du DESS GLA pour des industriels : gestion de contrats d'assurances pour la caisse centrale de réassurance, modélisation et gestion des procédures de contrat de service pour Unilog, modélisations diverses pour le CEMAGREF (vinification et viande bovine, voir ci-dessous), gestion d'un *workflow* de planification de la maintenance de systèmes complexes (Meta-Maint) avec Synersoft.

Génération de code à l'aide de patrons de conception

G. BLAIN, N. REVAULT, G. SUNYÉ, M. ZIANE

Les patrons de conception représentent des connaissances des concepteurs de logiciels relatives à la description de problèmes récurrents de conception et de leurs solutions. Toutefois, ces connaissances sont insuffisantes pour aboutir à leur mise en œuvre. En effet, il reste à effectuer un certain nombre de choix d'implantation, fortement liés à la spécificité de l'environnement choisi pour réaliser la solution. De plus, suivant le contexte applicatif dans lequel la mise en œuvre du patron doit être intégrée, un certain nombre de contraintes doivent être respectées. La combinaison de ces choix d'implantation et de ces contraintes entraîne la possibilité d'un grand nombre d'implantation différentes pour un même patron. D'autre part, chacune de ces implantations est trop spécifique pour être réutilisée dans des situations similaires. Cette action qui s'inscrit dans le cadre de la thèse de G. Sunyé, consiste à développer un outil de génération automatique de code utilisant les patrons de conception. Cet outil (Sunyé, 1998) permet d'expliciter les instances de patrons utilisables durant la conception. Chaque instance spécifique d'un patron intègre les compromis d'implémentation liés aux classes qui le composent. Grâce à des bases de règles de production, l'outil peut suggérer des changements de conception et générer le code source de la variante d'implémentation la plus indiquée pour chaque cas.

Contraintes et objets

A. LIRET, F. PACHET, P. ROY

Cette action consiste à étudier l'apport de la programmation par objets et des frameworks, pour la résolution de problèmes d'optimisation combinatoire, utilisant en particulier les

techniques de satisfaction de contraintes. Ces travaux ont donné lieu à deux systèmes opérationnels : *BackTalk* (thèse de P. Roy), et *AliceTalks* (thèse de A. Liret). Le système *BackTalk* (Roy et Pachet, 1997a, 1997b) est un framework pour la spécification et la résolution de problèmes combinatoires, dont une particularité est de proposer une bibliothèque de classes de contraintes et de méthodes de filtrage efficaces. *AliceTalks* est une reconstruction du système Alice de J.-L. Laurière en utilisant les techniques de la programmation par objets. Un des buts du système *AliceTalks* est d'étudier précisément l'intégration de techniques de réécriture dans la satisfaction de contraintes. La convergence des deux systèmes est prévue pour l'année 1998. Nous avons par ailleurs obtenu des résultats théoriques sur la complexité de problèmes intégrant objets et contraintes, avec une application à l'harmonisation musicale (Roy et Pachet, 1997c, 1997d). En outre, le système *BackTalk* sert de base à différents tutoriels de conférences (Roy et Pachet, 1996, 1997e).

Représentation de connaissances musicales

J. CARRIVE, F. PACHET, P. ROY, F. ROUSSEAUX

L'action représentations musicales consiste à étudier certains problèmes bien définis qui se posent naturellement dans le contexte de la musique tonale. Ces travaux s'articulent le plus souvent autour de la bibliothèque de classes MusES, qui contient une représentation des concepts de base de la musique tonale (notes, intervalles, accords). Plusieurs systèmes de taille substantielle ont été réalisés avec MusES dans cette action : un système d'analyse harmonique (Pachet, 1997), un système d'harmonisation (thèse de P. Roy, en cours), un système d'improvisation (thèse de G. Ramalho), et un système d'induction de motifs mélodiques (thèse de P.-Y. Rolland, en cours) en collaboration avec le thème APA. Un travail de fond porte sur les problèmes de représentation d'objet temporels, et le développement d'une ontologie incorporée au noyau de MusES (Pachet et al., 1996). Mentionnons enfin un projet en collaboration avec le département de musicologie de Paris IV Sorbonne. Ce projet consiste à concevoir un CD-Rom interactif à partir du livre " La Partition Intérieure " de J. Siron (Éditions Outre Mesure) (Rousseaux et Pachet, 1997a, 1997b, 1997c, 1997d).

Objets pour la programmation parallèle et répartie

J.-P. BRIOT

Cette étude, menée en collaboration avec R. Guerraoui de l'EPFL (Lausanne), consiste à analyser les différents types et niveaux d'intégration possibles entre la technologie de programmation par objets standard (c'est-à-dire séquentielle et centralisée), et les nouveaux enjeux de l'informatique parallèle et répartie. Elle a donné lieu à un certain nombre de publications et tutoriels de référence (Briot et Guerraoui, 1996a, 1996b, 1997b ; Briot et al., 1998) et a également pu bénéficier de l'expérience de journées organisées conjointement sur ce sujet (Briot et al., 1996). Cette connaissance nous est utile à la conception des futurs frameworks intégrés développés à l'intérieur du thème.

Des objets actifs aux agents autonomes

J.-P. BRIOT, Z. GUESSOUM, J.-F. PERROT

Cette action porte sur le développement et l'expérimentation de frameworks intégrés de programmation concurrente par objets et par agents. Le framework Actalk est une architecture logicielle générique de programmation concurrente par objets actifs, intégrée à l'environnement de programmation Smalltalk. L'architecture initiale a été refondue en 1994 avec une modularité encore accrue. Une expérimentation récente a porté sur la

spécialisation et la combinaison de diverses stratégies de synchronisation (Briot, 1996). Actalk a depuis son origine (1989) été utilisé comme fondation pour la construction de nombreuses plates-formes prototypes, en particulier de type multi-agent. DIMA en est un exemple particulièrement abouti, conçu comme une extension du framework Actalk (Guessoum et al., 1997) et intégrant un certain nombre d'autres frameworks standard (simulation à événements discrets) ou développés au laboratoire (en particulier, le framework de règles de production NéOpus). DIMA a été validé sur deux projets de taille conséquente : reconstruction plus modulaire et efficace du système NéoGanesh de surveillance de malades sous assistance respiratoire (Guessoum et Dojat, 1996a), et simulation de modèles de macro-économique qualitative (Guessoum et Durand, 1996).

Agents répartis adaptatifs

J.-P. BRIOT, A. CARDON, Z. GUESSOUM

Ce projet consiste à étudier l'interfaçage de la plate-forme multi-agents DIMA avec le framework de programmation répartie BAST (B. Garbinato et R. Guerraoui, EPFL, Lausanne). Ce dernier contient un grand nombre de protocoles de programmation répartie et tolérante aux fautes, construits à partir d'abstractions génériques. Le point de départ est l'identification et l'association à certains modules d'un agent DIMA (ex : module de communication) de certaines classes BAST (ex : atomic multicast, en cas de réplication active d'agents). L'idée est ensuite d'étudier les possibilités de coopération entre le niveau de connaissances des agents et les protocoles de répartition (et de résistance aux pannes). Cette communication/influence peut être " vers le haut " par des " upcalls " en cas de détection de pannes, et " vers le bas " par adaptation dynamique de protocoles en fonction des décisions des agents. L'application test est un petit système d'information et de communication (SIC) devant gérer en temps réel les situations d'urgence et de crise (en lien avec l'action suivante).

Systèmes d'Information et de Communication

A. CARDON, Z. GUESSOUM

Un système d'information et de communication (SIC) est un système réparti devant gérer en temps réel les situations d'urgence et de crise. C'est un système composé de différents Systèmes d'Information locaux, de bases de données, de bases de connaissances, de modules de calcul dédiés et dont les différents nœuds, qui représentent les postes de contrôle répartis, doivent interopérer pour assurer des prises de décision coopératives entre les responsables (Cardon, 1997a ; 1998). La recherche porte à la fois sur les conditions nécessaires à la coopération entre les décideurs, sur la représentation de chaque situation locale selon les points de vue des décideurs et sur le partage symbolique et cognitif de ces représentations. La prise en compte des représentations mentales de la situation selon chaque décideur et la construction effective par le système d'une représentation globale, est le point central de l'étude. Un prototype d'un tel système est en cours de développement en Distributed Smalltalk.

Utilisation du raisonnement à partir de cas (CBR) pour modéliser des agents prédictifs

Z. GUESSOUM

Afin d'enrichir la bibliothèque des comportements de la plate-forme DIMA et étendre ainsi ses champs d'application, nous avons introduit un comportement de raisonnement à partir de cas (case-based reasoning : CBR) pour modéliser des agents préventifs. Contrairement

aux agents dont le processus de décision est figé, les agents CBR construisent leur propre base de cas en se basant sur leur expérience. Chaque cas, représente un premier ensemble de paramètres pertinents de l'agent lui-même ainsi qu'un autre ensemble de paramètres représentant un modèle des autres agents. Ce dernier permet à l'agent de raisonner sur ses accointances. Pour valider ce type d'agents nous avons utilisé l'application économique Meveco (en collaboration avec R. Durand, HEC),. Les différentes expérimentations effectuées ont montré que les entreprises implémentées sous forme d'agents CBR ont en général les meilleures performances.

Étude du marché électrique

J.-P. BRIOT, Z. GUESSOUM

Ce projet a pour objectif la modélisation multi-agents du marché concurrentiel électrique en se basant sur les textes de loi sur l'ouverture prochaine du marché électrique européen. Le but est de simuler les différents acteurs tels que l'autorité de régulation, EDF, les producteurs indépendants et les gros consommateurs. Dans une deuxième étape, le projet consiste à comparer les résultats de l'étude basée sur la simulation avec d'autres études statiques, comme l'étude basée sur l'ouverture du marché des télécommunications. La dernière étape du projet, en collaboration avec EDF, vise à généraliser cette simulation à d'autres domaines d'application en proposant un modèle générique d'une population d'agents concurrentiels adaptatifs.

Vers un AGL multi-agents : Méta-DIMA (Méta-modélisation de la plate-forme DIMA)

G. BLAIN, Z. GUESSOUM, B. HUET, B. LESUEUR

L'objectif principal de ce projet est de développer un environnement de mise en œuvre de DIMA à travers différents méta-modèles. Le méta-modèle de référence qui sert de pivot à l'ensemble des applications est appelé Méta-DIMA. À partir de ce méta-modèle, une démarche systématique de réalisation de systèmes multi-agents a été proposée. Dans le cadre des applications réalisées, l'introduction d'un modèle de coopération entre agents en réutilisant les spécifications du standard KQML (Knowledge Query Manipulation Language) a été introduit. L'objectif de ce modèle est de décrire comment un agent gère ses interactions avec les autres agents de son groupe afin d'atteindre un but donné. Méta-DIMA a été validé sur trois applications réelles qui sont décrites dans ce qui suit.

Application 1 : projet européen FIBOF (Financial Business Framework)

L'objectif du projet FIBOF est de définir un framework pour les secteurs bancaire et financier, adaptable aux spécificités de chaque institution financière. Ce framework doit permettre de générer simplement, à partir d'une spécification dans un langage compréhensible par les gestionnaires, les applicatifs nécessaires à la gestion de nouveaux produits financiers.

Application 2 : simulation du plateau médico-technique

L'objectif de cette application est d'utiliser Méta-DIMA pour réaliser une simulation des agents coopératifs intervenant dans la demande d'examen biologique à partir des services cliniques. Plus précisément, il s'agit d'obtenir des informations complémentaires sur un patient à partir d'un prélèvement. Cet objectif ne peut être atteint que par une coopération entre divers agents humains et technologiques répartis entre les services cliniques (où se trouve le patient) et les laboratoires d'analyse.

Application 3 : simulateur du réseau de traitement de la viande bovine

L'objectif de ce projet est de fournir au CEMAGREF un environnement de simulation du réseau de traitement de la viande bovine en France dans le but de vérifier l'efficacité des contrôles effectués.

Agents logiciels et agents mobiles

J.-P. BRIOT, J. FERBER, M. GIRARD, W. MERLAT, M.-J. YOO

Cette action porte sur le développement de modèles, de techniques et de plates-formes d'agents logiciels ou/et mobiles. Tout d'abord un formalisme à base de composants pour exprimer le comportement d'un agent (SCD) a été développé par M.-J. Yoo (thèse en cours ; Yoo et al. 1998a, 1998b), à partir du modèle de composants BRIC de J. Ferber. Ce travail se déroule dans le cadre de la consultation thématique CNET CARISMA et du projet inter-thèmes *Conception et validation d'agents logiciels*. Une plate-forme d'exécution d'agents mobiles : Java Net Agents (Merlat et Seyrat, 1997) a également été développée conjointement à ce projet, principalement par W. Merlat, en collaboration avec l'ONERA où s'est déroulée la plupart de sa thèse. M. Girard, a quant à elle, développé un gestionnaire de configuration d'applications réparties adaptatif à l'aide d'agents logiciels utilisant des techniques d'apprentissage (Girard, 1996).

Les systèmes adaptatifs

A. CARDON, Z. GUESSOUM

Un système adaptatif est une organisation d'entités logicielles capable de se reconformer pour faire structurellement émerger une représentation propre de la conception de son environnement. C'est un système opérant par clôture opérationnelle sur l'extérieur et construisant à partir de différentes perceptions une conception de l'environnement, pour y agir selon des intentions. L'architecture de ces systèmes se fonde actuellement sur des organisations d'agents hybrides et dynamiques. Ces organisations doivent être aptes à se reproduire génétiquement pour assurer l'évolution du système. La recherche porte sur les caractères de l'architecture des systèmes adaptatifs, sur la génétique des différents niveaux de composants, sur l'apprentissage organisationnel et sur l'auto-adaptation aux utilisateurs. L'objectif est de développer des systèmes auto-contrôlés. Un prototype développé à partir de la plate-forme DIMA est en cours de réalisation pour tester ces idées.

Méthodologie multi-agent

A. COLLINOT, A. DROGOUL, R. FOISEL, S. RÉMY

Cette action porte sur la définition et l'outillage d'une méthode d'analyse et de conception d'organisations pour la réalisation de systèmes multi-agents et l'étude de phénomènes collectifs naturels. Nous avons élaboré le cadre méthodologique CASSIOPEE dont le principe fondateur est d'articuler l'analyse et la conception d'un système multi-agent autour de la notion d'organisation (Collinot et al., 1995 ; Collinot et al., 1996a ; Collinot et al., 1996b ; Collinot et Drogoul, 1997 ; Collinot et Drogoul, 1998 ; Drogoul et Collinot, 1998). Cette méthode a pour objectif de répondre à un besoin méthodologique spécifique à l'intelligence artificielle distribuée, à savoir la possibilité d'intégrer l'aspect descriptif et opérationnel de l'organisation dès l'étape d'analyse, à la fois pour des raisons d'implantation et de documentation. La méthode CASSIOPEE est essentiellement une façon d'appréhender un type de résolution de problèmes qui suppose la mise en œuvre de comportements collectifs par un ensemble d'agents logiciels, en les dotant de trois niveaux

de rôles : (1) rôles du domaine ; (2) rôles relationnels ; (3) rôles organisationnels. La méthode CASSIOPEE sert actuellement de base pour l'élaboration d'une méthodologie de conception et d'un environnement de développement de systèmes multi-agents dans le cadre d'un contrat CIFRE avec Dassault-Aviation. Elle est également utilisée pour la conception, l'analyse et la réalisation de l'organisation de sous-systèmes électroniques de véhicules dans le cadre d'un contrat de collaboration avec P.S.A. (projet CAROSSE).

Robotique collective et apprentissage multi-agent

A. COLLINOT, A. DROGOUL, S. LALANDE, L. MAGNIN, P. URBANO

Cette action consiste à concevoir des équipes de robots autonomes mobiles. La première application (projet MICROB, en collaboration avec D. Duhaut, Laboratoire de Robotique de Paris) porte sur le développement d'équipes de robots capables de jouer au football contre d'autres robots (Collinot et al., 1996a ; Drogoul et Duhaut, 1996). Une première équipe de micro-robots a été réalisée en novembre 1996, et a participé au tournoi MIROSOT'96 en Corée du Sud. Une seconde équipe, composée de robots plus grands, a participé au tournoi RoboCup, qui s'est déroulé pendant IJCAI 97 et nous développons, dans le cadre du projet inter-thèmes MICROB2, quatre nouvelles équipes (robots simulés, petits et moyens robots, robots à pattes) pour le tournoi RoboCup'98. Du point de vue de l'intelligence artificielle distribuée (IAD), cette application est une base idéale de tests pour la coordination dynamique de plusieurs agents, pour l'apprentissage multi-agent (Aubineau et Lalande, 1997 ; Drogoul et Zucker, 1998) et pour les outils de simulation (Magnin, 1997, 1998). Afin, d'une part, d'être en mesure d'évaluer notre travail, et, d'autre part, de promouvoir cette application (pour laquelle les outils de développement sont libres de droit), nous organisons, en juillet 1998, pendant la vraie coupe du monde de football, le tournoi Paris'98 qui regroupe les deux compétitions existantes (Mirosot et RoboCup). Ce tournoi sera en outre associé à ICMAS'98 (International Conference on Multi-Agent Systems).

Modélisation et simulation multi-agents

A. COLLINOT, A. DROGOUL, S. PICAULT, D. SERVAT

La simulation multi-agents permet de modéliser des systèmes complexes en représentant directement les individus, leurs comportements et leurs interactions. Chaque individu est représenté par un agent dont le comportement est défini pour toutes les phases de son évolution (naissance, recherche de nourriture et de partenaire, reproduction et mort). Ainsi, il est possible de simuler l'évolution globale d'un système complexe à partir de la modélisation d'interactions locales. Dans le cadre de cette action, un certain nombre de projets sont en cours de réalisation et nourrissent de par leur caractère interdisciplinaire nos réflexions méthodologiques sur la conception de SMA (Drogoul et Collinot, 1997). En collaboration avec des éthologues (B. Corbara, Clermont-Ferrand I, D. Fresneau, Paris XIII), le projet MANTA s'est attaché à la réalisation d'un système de simulation de l'activité d'une colonie de fourmis, en fournissant des modèles de résolution collective de problèmes. En collaboration avec des spécialistes de la pêche (V. Ginot, INRA-Thonon-les-Bains, P. Lambert, CEMAGREF-Bordeaux), nous avons élaboré des modèles multi-agent de la dynamique des peuplements piscicoles. En collaboration avec des primatologues (D. Lestel, ENS), nous travaillons sur la modélisation des aptitudes sociales des primates avec comme objectif de spécifier une typologie de comportements et un ensemble de dispositifs cognitifs capables de reproduire, indépendamment du domaine étudié, les mêmes phénomènes sociaux (Picault et Collinot, 1998 ; Picault, 1998). En collaboration avec l'ORSTOM

(J.-P. Treuil, E. Perrier, LIA), nous développons, dans le cadre du projet RIVAGES, un modèle multi-agent pour la simulation de différents phénomènes hydrologiques (Servat et al., 1998a).

Mondes virtuels

A. DROGOUL, B. GORTAIS, G. HUTZLER, F. KAPLAN

Les systèmes multi-agents ne servent pas seulement à simuler des phénomènes réels, mais peuvent être employés pour la création de mondes virtuels. Les jeux stratégiques sur ordinateur en sont un bon exemple : à ce titre, ces deux dernières années, nous avons envoyé cinq étudiants de DEA en stage dans les entreprises leaders de ce marché (Cryo Interactive, Callisto, Infogrames et Canal+). D'autre part, la génération d'écosystèmes virtuels est à la base du projet Jardin des hasards (Hutzler et al., 1997a, 1997b) qui porte sur la production d'œuvres artistiques animées, alimentées par des données du monde réel (météorologie, etc.). Ce travail, dans une déclinaison nommée Jardin de données (Hutzler et al., 1998a), fait l'objet d'une convention CTI avec le CNET dans le domaine des interfaces utilisateurs. Enfin, le travail réalisé avec SONY CSL France, dans le cadre d'une convention CIFRE, sur l'origine et l'évolution du langage, explore et utilise des mondes virtuels peuplés d'agents capables d'interactions langagières (Kaplan, 1998 ; Steels et Kaplan, 1998).

Apprentissage de représentations spatiales

J.-A. MEYER, O. TRULLIER (ANIMATLAB, ENS)

Un modèle détaillé du fonctionnement de l'hippocampe chez le rat a été mis au point et validé, en collaboration avec le LPPA du Collège de France. Ce travail repose sur l'hypothèse que l'hippocampe fonctionne comme un réseau hétéro-associatif, qui apprend, enregistre et restitue des séquences d'événements correspondant aux déplacements successifs d'un rat dans son environnement. Il s'inspire du modèle de mémoire à court terme décrit par Jensen et Lisman en 1996 et fait intervenir à la fois des cellules de lieu, de cellules de direction de la tête, et des cellules de but (Trullier et Meyer, 1998). L'implantation de ce modèle de navigation sur un robot mobile est envisagée dans l'année à venir.

Développement et évolution de contrôleurs neuronaux

J. KODJABACHIAN (ANIMATLAB, ENS), J.-A. MEYER

Cette recherche vise à préciser comment des algorithmes inspirés des processus naturels de développement, d'apprentissage et d'évolution peuvent concourir à l'organisation d'un réseau de neurones contrôlant les comportements adaptatifs d'un animat. Notre méthodologie repose sur les techniques du codage cellulaire et de la programmation génétique et permet de coder dans un génotype, puis de faire évoluer de génération en génération, les lois de développement et d'apprentissage d'un contrôleur neuronal. Elle a été appliquée à la mise au point automatique de réseaux de neurones assurant d'abord la locomotion — puis des comportements plus élaborés comme le suivi de gradient et l'évitement d'obstacles — chez un animat à 6 pattes (Kodjabachian et Meyer, 1998). Elle a également été utilisée pour générer des contrôleurs assurant un comportement robuste d'évitement d'obstacles sur un robot Khepera (Chavas et al., 1998).

Livres (3)

- Cardon A.**, Charras C., *Introduction à l'algorithmique et à la programmation*, Editions Ellipses, (1996).
- Chemillier M., **Pachet F.**, Recherches et applications en informatique musicale, Hermès, Collection Informatique musicale (1998).
- Soria M., Morcrette M., Brygoo A., **Paliès O.***, *Initiation à la programmation par Word et Excel*, International Thomson Publisher France, (1997) — Vuibert Editions (1998).

Publications parues dans des revues, notoriété importante (10)

- Asada M., Kuniyoshi M., **Drogoul A.**, Asama H., Mataric M., Duhaut D., Stone P., and Kitano H., The RoboCup Physical Agent Challenge: Phase-I, *Applied Artificial Intelligence, An International Journal*, Taylor & Francis Publishers (1998) (accepté).
- Briot J.-P.**, Guerraoui R., Löhr K.-P., Concurrency and distribution in object-oriented programming, *ACM Computing Surveys* (1998) (accepté).
- Collinot A.**, **Drogoul A.**, Using the Cassiopeia Method to Design a Soccer Robot Team, *Applied Artificial Intelligence, An International Journal*, Taylor & Francis Publishers (1998) (accepté).
- Dojat M., **Pachet F.**, **Guessoum Z.**, Touchard D., Harf A, Brochard L. NéoGanesh: a Working System for the Automated Control of Assisted Ventilation in ICUs. *Artificial Intelligence in Medicine*. Special issue on Decision Support in the Operative Theatre and Intensive Care. Volume 11 No 2, septembre-octobre (1997).
- Drogoul A.**, **Collinot A.**, Applying an Agent-Oriented Methodology to the Design of Artificial Organisations: a Case Study in Robotic Soccer, article invité pour le premier numéro de *Journal of Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, Springer-Verlag (1998).
- Guessoum Z.**, A Multi-Agent Simulation Framework, *Transactions of the Society for Computer Simulation International*, SCS (accepté).
- Kodjabachian J., **Meyer J.-A.**, Evolution and Development of Modular Control Architectures for 1-D Locomotion in Six-legged Animats, *Connection Science* (1998) (accepté).
- Kodjabachian J. et **Meyer J.-A.**, Evolution and Development of Neural Controllers for Locomotion, Gradient-Following, and Obstacle-Avoidance in Artificial Insects. *IEEE Transactions on Neural Networks* (1998) (accepté).
- Paquette G., **Pachet F.**, Giroux S., Girard J., EpiTalk, generating advisor agents for existing information systems. *Artificial Intelligence in Education*, 7(3-4) (1996) pp. 149-179.
- Roy P.**, **Liret A.**, **Pachet F.**, The Framework Approach for Constraint Satisfaction, *ACM Computing Surveys on Frameworks* (1998) (accepté).

Publications parues dans des revues, notoriété courante (17)

- Briot J.-P.**, Guerraoui R., Objets pour la programmation parallèle et répartie : intérêts, évolutions et tendances, dans le numéro spécial *Systèmes à objets : tendances actuelles et évolution*, A. Napoli et **J.-F. Perrot** (Rédacteurs), *Technique et Science Informatiques (TSI)*, 15(6), (1996a) pp. 765-800.

- Briot J.-P.**, Guerraoui R., Smalltalk for concurrent and distributed programming, dans le numéro spécial *Smalltalk*, R. Guerraoui (Rédacteurs), *Informatik/Informatique*, Swiss Informaticians Society, (1) (1996b) pp. 16-19.
- Briot J.-P.**, Guerraoui R., Smalltalk : du mono-processeur et mono-utilisateur à la programmation concurrente et répartie, dans le numéro spécial *Smalltalk*, **F. Pachet** et H. Mili (Rédacteurs), *L'Objet*, 3(4), (1997) pp. 379-391.
- Cardon A.**, Les Systèmes d'Information et de Communication de gestion de crise : une modélisation par agents, *Ingénierie des Systèmes d'Information*, Vol. 5, No 2, p. 167-193, Ed. Hermes, Juin (1997a).
- Cardon A.**, Système de gestion de crises coopératif : un processus d'interprétation de points de vues multiples, *Revue de la Décision*, AFCET (1998a) (accepté).
- Cardon A.**, Un projet de modélisation des systèmes de communication : une approche de la complexité organisationnelle, *Revue Internationale de Systémique*, (1998b) (accepté).
- Collinot A., Drogoul A.**, Approche orientée agent pour la conception d'organisations : application à la robotique collective, *Revue d'Intelligence Artificielle*, 12(1), Ed. Hermès (1998), pp.125-147.
- Doucet A., Gancarski S., Jomier G., Monties S.** Maintien de la cohérence dans une base de données multiversion, *In Ingénierie des Systèmes d'information*, 5(1), (1997). (également paru dans **Doucet et al.**, 1996b).
- Guessoum Z.**, DIMA : Une plate-forme multi-agents en Smalltalk. *L'Objet*, Volume 3, No 4, décembre (1998).
- Kafura D., **Briot J.-P.**, Introduction to actors and agents, dans la série spéciale *Actors and Agents*, D. Kafura et **J.-P. Briot** (Rédacteurs invités), *IEEE Concurrency*, Vol. 6, No 2, avril-juin (1998) pp. 24-29.
- Pachet F.**, Djamen J.-Y., Frasson C., Kaltenbach M., Un mécanisme de production de conseils exploitant les relations de composition et de précedence dans un arbre de tâches, *Sciences et techniques éducatives*, 1(3), (1996) pp. 43-75.
- Pachet F., Ramalho G., Carrive J.**, Representing temporal musical objects and reasoning in the MusES system, *Journal of New Music research*, 25(3), (1996) pp. 252-275.
- Plazanet C., **Martini Bigolin N., Brézillon P., Ruas A.***, Experimenting Learning Techniques for Spatial Models Enrichment and Linear Generalization, *In GeoInformatica*, Special issue on Map Generalization (1998) (accepté).
- Rolland P.-Y., Pachet F.***, A framework for representing knowledge about synthesizer programming, *Computer Music Journal*, 20(3), (1996) pp. 47-58.
- Roy P., Pachet F.**, Reifying Constraint Satisfaction in Smalltalk. *Journal of Object-Oriented Programming (JOOP)*, 10(4), Juillet-Août (1997) pp. 43-51.
- Sahraoui H., Revault N., **Blain G., Perrot J.-F.**, Un outil pour la conception de bases de données à objets, *Technique et Science Informatiques (TSI)*, (1997).
- Sunyé G., Sahraoui H., Lesueur B., Blain G.**, Chroniques d'implémentation d'un méta-outil en Smalltalk, *L'Objet*, vol. 3, n°4, décembre (1997) pp. 411-427.

Publications dans des actes de congrès ou des ouvrages de synthèse, notoriété importante (16)

- Briot J.-P.**, An experiment in classification and specialization of synchronization schemes, in *Object Technologies for Advanced Software (ISOTAS'96)*, K. Futatsugi et S. Matsuoka (Eds), LNCS 1049, Springer Verlag (1996) pp. 227-249.
- Collinot A., Drogoul A.**, Benhamou P., Agent Oriented Design of a Soccer Robot Team, *Proc. of the Second International Conference on Multi-Agent Systems (ICMAS, 96)*, Nara, Japon (1996a) pp. 41-47.
- Doucet A., Monties S.**, Versions of Integrity Constraints in Multiversion Databases, In *Database and Expert Systems Applications, 8th International Conference DEXA'97*, Toulouse, France, LNCS 1308, Springer Verlag septembre (1997) pp. 252-261.
- Ferber J.**, Cooperation Strategies in Collective Intelligence, in W. Van de Velde (Ed.), *Proc. of MAAMAW'96, Workshop on Modelling Autonomous Agents in a Multi-Agent World*, Eindhoven (1996).
- Ferber J.**, Reactive Distributed Artificial Intelligence : Principles and Applications, In *Foundations of Distributed Artificial Intelligence*, Jennings N. (Ed.), Wiley (1996).
- Giroux S., Paquette G., **Pachet F.**, Girard J., EpiTalk, a Platform for Epiphyte Advisor Systems Dedicated to Both Individual and Collaborative Learning, *Intelligent Tutoring Systems (ITS-96)*, Springer-Verlag Lecture Notes in Computer Science, Montréal (1996) pp. 363-371.
- Guessoum Z.**, Dojat M., A Real-Time Agent Model in an Asynchronous Object-Oriented Environment, *MAAMAW'96*, in Lecture Notes in Artificial Intelligence, *Agents Breaking Away*, Walter Van de Velde and John Perram (eds.), Netherlands (1996) pp. 190-203.
- Hutzler G.**, Gortais B., **Drogoul A.**, The Garden of Chances: an Integrated Approach to Abstract Painting and Reactive D.A.I., in Husbands P. and Harvey I. (eds), *4th European Conference on Artificial Life*, MIT Press, (1997b) pp. 566-573.
- Kaplan F.**, A new approach to class formation in multi-agent simulations of language evolution, *ICMAS'98, Third International Conference On Multi-Agent Systems* (1998) (accepté).
- Pachet F.**, Computer Analysis of Jazz Chord Sequences. Is Solar a Blues?, in *Readings in Music and Artificial Intelligence*, Harwood Academic Publishers (1998) (accepté).
- Picault S.**, A Multi-Agent Simulation of Primate Social Concepts, article accepté à la conférence *ECAI'98* (1998).
- Picault S., Collinot A.**, Designing Social Cognition Models for Multi-Agent Systems through Simulating Primate Societies, *ICMAS'98, Third International Conference on Multi-Agent Systems* (1998) (accepté).
- Steels L., **Kaplan F.**, Stochasticity as a source of innovation in language games, in C. Adami, R. Belew, H. Kitano, and C. Taylor (eds.), *Proceedings of Artificial Life VI*, MIT Press (1998).
- Trullier O. et **Meyer J.-A.**, Animat Navigation Using a Cognitive Graph. In Blumberg et al. (Eds.). *From Animals to Animats 5, Proceedings of the Fifth International Conference on Simulation of Adaptive Behavior*, The MIT Press/Bradford Books (1998).
- Vacher J.-P., **Cardon A.**, Lesage F., Genetic Algorithms in a Multi-Agents System, *3rd IEEE Symposium on Intelligence in Neural and Biological Systems*, Washington DC, Etats-Unis, mai (1998).
- Valduriez P., Zaït M., **Ziane M.**, Optimization for Parallel Execution, *Parallel Database Techniques*, M. Abdelguerfi et K-F. Wong (eds), IEEE-CS Press, juillet (1998).

Publications dans des actes de congrès ou des ouvrages de synthèse, notoriété courante (74)

- Alexis-Girault K., **Paliès O.**, Safar B., Modèles de résolution et d'explication au bridge, *Actes explication'96*, Sophia Antipolis (1996) pp. 135-149.
- Aubineau E., **Lalande S.**, Apprentissage de comportements coopératifs chez les robots footballeurs, *Actes des 5èmes Journées Francophones sur l'Intelligence Artificielle Distribuée et les Systèmes Multi-Agents*, Ed. Hermès (1997) pp. 239-259.
- Brézillon P.**, **Martini Bigolin N.***, An experience using context in translation from system's requirements to conceptual model. In: *International and Interdisciplinary Conference on Modeling and Using Context*. Rio de Janeiro, Brésil (1997).
- Briot J.-P.**, Guerraoui R., Objets pour la programmation parallèle et répartie : intérêts, évolutions et tendances, In *Langages et modèles à objets*, INRIA, Collection Didactique, Euzenat J., Napoli A. (Eds) (1998a) (accepté). Replication de (Briot et Guerraoui, 1996a).
- Briot J.-P.**, Issues in the integration of object-oriented technology with parallel and distributed computing requirements, *VIM Project Spring Workshop 1997*, J. Padget (Ed), Lanjaròn, Espagne, (1997) (conférencier invité).
- Cardon A.**, Le caractère fondamental des systèmes finalisés : la complexité profonde, *Troisième Congrès Européen de Systémique*, Rome, Italie, Octobre (1997b) pp. 951-956.
- Cardon A.**, An Information System for Co-operative dialogue in Emergency Situations, *BITWORLD '98*, Delhi, Inde (1998c).
- Cardon A.**, Lesage F., Toward Adaptive Information Systems : considering concern and intentionality, *KAW'98*, Banff, Canada (1998d).
- Cardon A.**, Itmi M., Les Systèmes d'Information et de Communication distribués d'aide à la décision, *Secondes Journées Francophones de Recherche Opérationnelle*, Sousse, Tunisie (1998e).
- Carrive J.**, **Pachet F.**, Ronfard R., Logiques de description pour l'analyse structurelle de documents audiovisuels", *Ingénierie des Connaissances - IC'98*, Nancy (1998) (accepté).
- Chavas J., Corne C., Horvai P., Kodjabachian J. et **Meyer J.-A.**, Incremental Evolution of Neural Controllers for Robust Obstacle-Avoidance in Khepera. In Husband P. and Meyer J.A. (Eds). *Proceedings of The First European Workshop on Evolutionary Robotics, EvoRobot'98*, Springer Verlag (1998).
- Chikhi Y.**, Moustafiadès J., **Pachet F.**, An approach for Building Electrical Network Models Based on Reusable Components, *CESA'98 IMACS Multiconference, Computational Engineering in Systems Applications*, Nabeul-Hammamet, Tunisie (1998).
- Chikhi Y.**, Moustafiadès J., **Pachet F.**, Démarche de modélisation de réseaux électriques à partir de composants structurés en points de vue, *Inforsid*, Montpellier (1998).
- Collinot A.**, Ploix L., **Drogoul A.**, Application de la méthode Cassiopée à l'organisation d'une équipe de robots, *Actes des 4èmes Journées Francophones sur l'Intelligence Artificielle Distribuée et les Systèmes Multi-Agents*, Ed. Hermès (1996b) pp. 137-152.
- Delerue O.**, **Pachet F.**, MidiSpace, un spatialisateur midi expérimental, *JIM 98*, Agelonde (1998).
- Djamen J.-Y., **Pachet F.**, Advice with part-whole and precedence relations in task graphs for intelligent tutoring systems, *FLAIRS 97*, special track on intelligent tutoring systems, Daytona, Floride, Etats-Unis (1997).
- Doucet A.**, Fauvet M.-C., **Gançarski S.**, Jomier G., **Monties S.**, Using Database Versions to Implement Temporal Integrity Constraints, In *Constraints Programming Workshop on Constraint Database Systems*, Boston, USA, LNCS N 1191, Springer Verlag (1996c).

- Doucet A., Gançarski S., Jomier G., Monties S.,** Integrity Constraints in Multiversion Databases, in LNCS, Springer Verlag, *Actes BNCOD'96*, Edinburgh, UK (1996a).
- Doucet A., Gançarski S., Jomier G., Monties S.,** Maintien de la cohérence dans une base de données multiversion, *Actes du douzième congrès PRC BD3*, Cassis (1996b) pp 181-201.
- Drogoul A., Collinot A.,** Entre réductionnisme méthodologique et stratégie intentionnelle, l'éthologie, un modèle alternatif pour l'IAD, *Actes des 5èmes Journées Francophones sur l'Intelligence Artificielle Distribuée et les Systèmes Multi-Agents*, Ed. Hermès (1997) pp. 307-322.
- Drogoul A., Duhaut D.,** Making Intelligent Collective Robotics: the MICROB Project, *Proc. of the MIROSOT'96 Workshop* (1996).
- Ferber J.,** Coopération, intention, interaction. *Actes des 4èmes Journées Francophones sur l'Intelligence Artificielle Distribuée et les Systèmes Multi-Agents*, Ed. Hermès (1996) pp. 273-280.
- Foïsel R., Chevrier V., Haton J.-P.,** Un modèle pour la réorganisation de système multi-agents, *Actes des 5èmes Journées Francophones sur l'Intelligence Artificielle Distribuée et les Systèmes Multi-Agents*, Ed. Hermès (1997) pp. 261-277.
- Foïsel R., Chevrier V., Haton J.-P.,** Modeling Adaptive Organizations, *poster accepté à ICMAS'98 (Third International Conference On Multi-Agent Systems)* (1998).
- Gançarski S., Rykowski J., Wiczerzycki W.,** On object and Database Versioning in Distributed Environment, In *Proc. XIIth ISICIS*, Antalya, Turquie, octobre (1997) pp.124-131.
- Girard M.,** Assistant Agents for creation and management of distributed Applications, *8th IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI96)*, Toulouse, (1996).
- Guessoum Z.,** A Hybrid Agent Model: reactive and cognitive behavior, *IEEE Computer Society Press* (1997) pp. 25-32.
- Guessoum Z., Briot J.-P.,** From active objects to autonomous agents, *7th ISCA International Conference on Intelligent Systems (ICIS'98)*, Versailles, (1998). Version révisée de (Guessoum et Briot 1997b).
- Guessoum Z., Briot J.-P., Dojat M.,** Des objets concurrents aux agents autonomes, *Cinquièmes Journées Francophones sur l'Intelligence Artificielle Distribuée et les Systèmes Multi-Agents (JFIADSMA'97)* J. Quinqueton (Ed), Hermès (1997) pp. 93-107.
- Guessoum Z., Briot J.-P.,** In Quest of the Missing Link between Active Objects and Autonomous Agents, *European Workshop on Modeling an Autonomous Agent in a Multi-Agent World (MAAMAW'97)*, (1997a) (poster).
- Guessoum Z., Briot J.-P.,** From active objects to autonomous agents, *2nd France-Japan Workshop on Object-Based Parallel and Distributed Computing (OBPDC'97)*, J.-P. Bahsoun, T. Baba, **J.-P. Briot** (Eds), IRIT, Toulouse (1997b).
- Guessoum Z., Dojat M.,** Le contrôle dans les systèmes multi-agents, *CRAC'96*, Paris (1996b).
- Guessoum Z., Durand R.,** Des agents intelligents pour modéliser l'évolution des entreprises, *JFIADSMA96*. in *Intelligence artificielle distribuée*, J.-P. Müller et J. Quinqueton (Eds.) Hermès, Paris (1996) pp. 47-58.
- Guillot A. et **Meyer J.-A.,** Synthetic Animals in Synthetic Worlds. In Kunii et Luciani (Eds.). *Synthetic Worlds*. Springer Verlag (1998) (accepté).
- Hutzler G., Gortais B., Drogoul A.,** Le Jardin des Hasards, peinture abstraite et IAD réactive, *Actes des 5èmes Journées Francophones sur l'Intelligence Artificielle Distribuée et les Systèmes Multi-Agents*, Ed. Hermès (1997b) pp. 295-306.

- Hutzler G., Gortais B., Drogoul A.,** Data Gardens: Visualizing the Evolution of Complex Dynamic Data using the Garden Metaphor, *Workshop on Innovative Interface Metaphors for Visual Media, Computer Human Interfaces'98*, Addison Wesley, (1998a).
- Hutzler G., Gortais B., Drogoul A.,** Data Gardens: Complexity Made Perceptible, *Conférence Complex Systems, Intelligent Systems & Interfaces'98* (1998b) (poster) (accepté).
- Hutzler G., Gortais B., Drogoul A.,** Data Gardens: An Artistic Proposal Towards the Representation of Distributed and Dynamic Data Using Multiagent Systems, poster accepté à ICMAS'98 (*Third International Conference on Multi-Agent Systems*) (1998c).
- Hutzler G., Gortais B., Drogoul A.,** Grounding virtual worlds in reality, *Virtual Worlds'98* (1998d) (accepté).
- Itmi M., **Cardon A.,** Lesage F., The Problem of Interpretation of exchanged Knowledge in High Level Architecture Systems, *1988 Summer Computer Simulation Conference*, Reno, Nevada, Etats-Unis (1998).
- Kaplan F., McIntyre A., Numaoka C., Tajan S.,** Growing virtual communities in 3D meeting spaces, *accepté à la conférence Virtual World'98* (1998).
- Liret A., Roy P., Pachet F.,** Conception par objets d'un système pour combiner raisonnement formel et satisfaction de contraintes, *JFLA'98*. Come, Italie, (1998a).
- Liret A., Roy P., Pachet F.,** Conception par objets d'un système pour combiner raisonnement formel et satisfaction de contraintes. *Journées PRC/GDR "Programmation", pôle Programmation par Objets*, Rennes (1998b).
- Liret A., Roy P., Pachet F.,** Combining Formal Reasoning Techniques and CSP, *ERCIM Workshop on constraint Programming and Processing* (in conjunction with CP'97), Linz, Autriche, (1997).
- Magnin L.,** Rectangles and Circles: Towards Realistic Simulation of Robots Playing Soccer, *accepté au workshop CRW'98, ICMAS'98, Paris, juillet* (1998a).
- Magnin L.,** SIEME: an Interaction Based Simulation Model, *conférence ESM'98* (1998b) .
- Magnin L.,** L'environnement au coeur de l'IAD : le modèle de simulation Sieme, *Actes des 5èmes Journées Francophones sur l'Intelligence Artificielle Distribuée et les Systèmes Multi-Agents*, Ed. Hermès (1997) pp. 87-88.
- Merlat W.,** Intérêts de l'approche multi-agents pour la conception des réseaux intelligents, *RJCIA'96 Rencontres des Jeunes Chercheurs en Intelligence Artificielle*, Nantes (1996).
- Merlat W., Seyrat C.,** JavaNetAgents : une plate-forme d'exécution d'agents mobiles pour le développement de systèmes multi-agents sur Internet, *Actes des 5èmes Journées Francophones sur l'Intelligence Artificielle Distribuée et les Systèmes Multi-Agents*, Ed. Hermès (1997) pp. 83-84 (poster).
- Merlat W., Seyrat C., Ferber J.,** Mobile Agents for dynamic Organizations: the Conversation-Agent Paradigm, *European Workshop on Modeling an Autonomous Agent in a Multi-Agent World (MAAMAW'97)*, M. Boman, W. Van de Velde, S. Hägg (Eds) (1997) (poster).
- Meyer J.-A.,** Evolutionary Approaches to Walking and Higher-Level Behaviors in 6-Legged Animats. In Gomi (Ed). *Evolutionary Robotics. Vol II. From Intelligent Robots to Artificial Life (ER'98)*. AAAI Books (1998).
- Meyer J.-A.,** Husbands P., et Harvey I., Evolutionary Robotics: a Survey of Applications and Problems. In Husbands P. and Meyer J.A. (Eds). *Proceedings of The First European Workshop on Evolutionary Robotics, EvoRobot'98*. Springer-Verlag (1998).

- Pachet F.**, Active Listening: Some Experiments, *Musical Cognition and Behavior: relevance for music composing*, Rome, Université La Sapienza, (1998a).
- Pachet F.**, Musique et programmation par objets. In *Langages et modèles à objets*, INRIA, Collection Didactique, Euzenat J., Napoli A. (Eds), (1998b) (accepté).
- Pachet F.**, Sur la structure algébrique des séquences d'accords de Jazz, *JIM 98*, Agelonde, (1998c).
- Pachet F.**, Bonardi A., Ecoute Interactive, Colloque *Les enjeux de la prise de son*, CDMC, (1998).
- Pachet F., Carrive J.**, Propriétés des intervalles temporels circulaires et application à l'analyse harmonique automatique, *Troisièmes journées d'informatique musicale, JIM'96*, Caen, Les cahiers du GREYC n° 4 (1996) pp. 230-247.
- Pachet F., Delerue O.** A Mixed 2D/3D Interface for Music Spatialization, *First International Conference on Virtual Worlds (VW98)*, (1998).
- Rousseaux F., Meunier J.-G., **Pachet F.**, Comment penser un système d'assistance artificiel quand l'improvisation est au cœur de l'activité à modéliser ?, *Actes des Journées Ingénierie des Connaissances (IC'97)*, Roscoff (1997c).
- Rousseaux F., **Pachet F.**, L'espace dans le projet "La partition intérieure interactive", *Colloque Musique/Philosophie*, Université Paris IV, Editions l'Harmattan (accepté).
- Rousseaux F., **Pachet F.**, Acquisition des connaissances et improvisation : la Partition Intérieure Interactive, *Journées d'Informatique Musicale, JIM 97*, Lyon (1997b).
- Roy P., Pachet F.**, A framework for expressing knowledge about constraint satisfaction problems, *FLAIRS 97*, Daytona (Fla) (1997a).
- Roy P., Pachet F.**, Conception de problèmes par objets et contraintes, *JFLA 97*, M. Gengler, C. Queinnec (Eds) Lyon, INRIA (1997b) pp. 169-187.
- Roy P., Pachet F.**, Objets contraintes et connaissances, *GDR, Pôle objet* (1997c).
- Servat D., Cambier C., Perrier E., Treuil J.-P.**, Le projet RIVAGE : Distribution du contrôle de l'action et de l'espace dans les simulations multi-agents de processus physiques, *CARI'98*, Dakar, Sénégal (1998).
- Servat D., Perrier E., Treuil J.-P., Drogoul A.**, Towards Virtual Experiment Laboratories: How Multi-Agent Simulations Can Cope With Multiple Scales of Analysis and ViewPoints, *Virtual Worlds 98* (1998a).
- Servat D., Perrier E., Treuil J.-P., Drogoul A.**, When Agents Emerge From Agents: Introducing Multi-scale Viewpoints in Multi-agent Simulations, article accepté au workshop *MABS'98* (1998b).
- Vacher J.P., **Cardon A., Galinho T.**, Granularity of heuristics : application to production planning, *Young Operational Research*, Univ. of Edinburgh, Ecosse, Royaume Uni (1998a).
- Vacher J.P., **Cardon A., Galinho T.**, Algorithmes Génétiques Multi-objectifs en Ordonnement de Production de type Job-Shop, *Secondes Journées Francophones de Recherche Opérationnelle*, Communication publiée dans les actes, Sousse, Tunisie (1998b).
- Vacher J.P., **Cardon A., Galinho T.**, Information Systems for Management in Job-Shop Scheduling Problems using a Multiobjective Genetic Algorithm, *NIMES'98*, Nimes (1998c).
- Vacher J.P., **Cardon A., Galinho T.**, Genetic algorithms using multi-objective in a multi-agent system, *2nd International Symposium on Intelligent Manufacturing Systems*, Sakarya University, Turquie (1998d).
- Vacher J.P., **Cardon A., Galinho T.**, Genetic algorithms in Multiagents Systems, *Eurogen '97*, Trieste, Italie (1997).

- Yoo M.-J., Briot J.-P., Ferber J.**, Using components for modelling intelligent and collaborative mobile agents, *IEEE Seventh International Workshops on Enabling Technologies: Infrastructure for Collaborative Enterprises (WetIce'98)*, D.S. Milojevic (Ed), Stanford University CA, Etats-Unis (1998b) (accepté).
- Yoo M.-J., Merlat W., Briot J.-P.**, Modeling and validation of mobile agents on the Web, *1998 International Conference on Web-based Modeling and Simulation*, P.A. Fishwick, D.R.C. Hill, R. Smith (Eds), *SCS Simulation Series*, 30(1), janvier (1998a) pp. 23-28.

Brevets, logiciels (distribués par ftp) (5)

- Briot J.-P.**, Actalk : framework de programmation concurrente en Smalltalk. A en particulier servi de base logicielle à de nombreux projets multi-agents dans divers laboratoires. Documenté et distribué sur le serveur ftp : <ftp://ftp.lip6.fr/lip6/softs/actalk/> (1994-1996).
- Drogoul A.**, MANTA : logiciel de modélisation et de simulation de sociétés de fourmis. Nécessite Windows'95 ou NT. Application, sources et exemples (deux espèces de fourmis) distribués par ftp sur demande (1992-1998).
- Drogoul A.**, Eco-Résolution : logiciel de résolution distribuée de problèmes. Version écrite en Java. Applet, sources et exemples (jeu de taquin) distribués par ftp sur demande (1989-1998).
- Pachet F.**, NéOpus : moteur d'inférence d'ordre un intégré à Smalltalk VisualWorks 2.5. Utilisé par de nombreux projets. Distribué par ftp : <ftp://ftp.lip6.fr/lip6/softs/NeOpus/SourcesNeOpus/> (1992-1996).
- Roy P.**, BackTalk, librairie d'algorithmes de satisfaction de contraintes intégrée à Smalltalk. Distribué par ftp : <ftp://ftp.lip6.fr/lip6/softs/NeOpus/BackTalk/> (1996).

Divers et rapports de recherche (23)

- Alexis-Girault K., **Paliès O.**, Safar B., *Modèles de résolution et d'explication au bridge*, LAFORIA96/18, juin 1996.
- Briot J.-P.**, *Issues in object-oriented parallel and distributed programming*, Actes des Journées de Pôle Programmation par objets, Journées GDR Programmation, Orléans, novembre 1996.
- Briot J.-P.**, Guerraoui R., *Tutorial on "Object-based parallel and distributed computing: survey and classification"*, ECOOP'97, Jyväskylä, Finlande, juin (1997b).
- Briot J.-P.**, Guerraoui R., *Tutorial on "Object-based parallel and distributed computing: survey and classification"*, OOPSLA'97, Atlanta GA, Etats-Unis, octobre (1997c).
- Cardon A.**, Durand S., *Un modèle de couche communicationnelle d'un SIC prenant en compte les représentations mentales des acteurs*, RR LAFORIA97/03, mars 1997.
- Cardon A.**, *La complexité des systèmes d'expression du sens*, RR LAFORIA96/09, février 1996.
- Cardon A.**, *Les systèmes adaptatifs à architecture d'agents dynamiques : une approche de la conscience artificielle*, Rapport de recherche LIP6 1998/003, février 1998.
- Cardon A.**, *Modélisation des Systèmes Adaptatifs par Agents : vers une Analyse-conception Orientée Objet*, Rapport de recherche LIP6 1998/011, mars 1998.
- Collinot A., Drogoul A.**, *La méthode de conception multi-agent Cassiopée : application à la robotique collective/Using the Cassiopeia Method to Design a Soccer Robot Team (version français/anglais)*, RR LAFORIA96/25, septembre 1996.

- Dojat M., **Pachet F.**, *Effective Domain-Dependent Reuse in Medical Knowledge Bases*, RR LAFORIA96/06, janvier 1996.
- Dojat M., **Pachet F.**, **Guessoum Z.**, Touchard D., Harf A., Brochard L., *NéoGanesh: a Working System for the Automated Control of Assisted Ventilation in ICUs*, RR LAFORIA97/01, février 1997.
- Drogoul A.**, **Collinot A.**, Ploix L., *Application de la méthode Cassiopée à l'organisation d'une équipe de robots*, RR LAFORIA96/03, janvier 1996.
- Drogoul A.**, Hutzler G., *Le jardin des hasards, peinture abstraite et I.A.D réactive*, RR LAFORIA96/04, janvier 1996.
- Girard-Faugère M.**, *Agents logiciel : Quel est le coût de la distribution ?* Rapport de recherche LIP6 1997/010, juillet 1997.
- Guessoum Z.**, **Briot J.-P.**, From active objects to autonomous agents, Rapport de recherche LIP6 1998/015, avril 1998.
- Guessoum Z.**, Dojat M., *A Real-Time Agent Model in an Asynchronous-Object Environment*, RR LAFORIA96/07, février 1996.
- Hutzler G.**, **Drogoul A.**, *Le jardin des hasards, peinture abstraite et I.A.D réactive*, RR LAFORIA96/04, janvier 1996.
- Pachet F.**, Assayag G., *Dossier Intelligence Artificielle et Musique*, RR LAFORIA96/30, novembre 1996.
- Paliès O.**, Alexis-Girault A., Safar B., *Modèles de résolution et d'explication au bridge*, RR LAFORIA96/18, juin 1996.
- Rousseaux F.**, **Pachet F.**, *Distinction and characterization of subjective vs objective aspects for the design of artificial assistance systems in the "AI and Music" field*. IJCAI'97 Workshop on Music, Nagoya (1997d).
- Roy P.**, **Pachet F.**, *Tutorial on "Integrating Constraint Satisfaction in Smalltalk "*, Troisième Ecole d'été de l'European Smalltalk User Group, Genève, Suisse, septembre 1996.
- Roy P.**, **Pachet F.**, *Tutorial on "Constraint Satisfaction Problems and Objects"*, IJCAI 97, Nagoya (Japon) (1997e).
- Tzafestas E.**, *Aging agents*, RR LAFORIA96/01, janvier 1996.

Animation de la recherche

Activités éditoriales

Conseils scientifiques de collection

Pachet F.,

- co-directeur de la collection informatique musicale, éditions Hermès

Rédacteur de revues et membres de comités de lecture

Briot J.-P.,

- IEEE Concurrency (comité de rédaction)
- L'Objet, Hermès (comité de rédaction)

Collinot A.,

- Bulletin de l'AFIA (comité de rédaction)

Doucet A.,

- NIS (Networking and Information System), Hermès, (comité de lecture)

Drogoul A.,

- Bulletin de l'AFIA (comité de rédaction)
- Revue électronique Journal of Artificial Societies and Social Simulation (comité de rédaction) <http://www.soc.surrey.ac.uk/research/JASSS/>

Ferber J.,

- Revue d'Intelligence Artificielle (comité de lecture)

Meyer J.-A.,

- Adaptive Behavior (rédacteur en chef)
- Evolutionary Computation (comité de rédaction)
- Artificial Life (comité de rédaction)

Pachet F.,

- L'Objet, Hermès (comité de rédaction)

Perrot J.-F.,

- Technique et science informatiques (TSI) (comité de rédaction)

Éditeur d'actes de congrès ou d'ouvrages collectifs**Briot J.-P.,**

- Object-Based Parallel and Distributed Computation, LNCS, 1107, Springer Verlag, 1996 (co-éditeur avec Geib J.-M., Yonezawa A.)

Drogoul A.,

- Collective Robotics, Lecture Notes in Artificial Intelligence, Springer-Verlag, 1998 (co-éditeur avec Fukuda T., Tambe M.)

Meyer J.-A.,

- Proceedings of the Fifth International Conference on Simulation of Adaptive Behavior: From Animals to Animats, The MIT Press, 1998 (co-éditeur avec Blumberg B., Pfeifer R., Wilson S.),
- Proceedings of The First European Workshop on Evolutionary Robotics, EvoRobot'98, Springer Verlag, 1998 (co-éditeur avec Husband P.)

Rédacteur associé d'une revue**Briot J.-P.,**

- Série spéciale sur Actors and Agents, IEEE Concurrency, 1997-1998 (co-éditeur invité avec D. Kafura)
- Numéro spécial sur le langage Smalltalk, *L'Objet*, décembre 1997 (membre du comité de rédaction)

Collinot A.,

- Numéro spécial Systèmes multi-agents, *Revue d'Intelligence Artificielle*, 12(1), janvier 1998 (co-éditeur invité avec B. Chaib-Draa et Y. Demazeau)

Pachet F.,

- Numéro spécial sur le langage Smalltalk, *L'Objet*, décembre 1997 (co-rédacteur invité avec H. Mili)
- Numéro spécial sur les objets en conception, *L'Objet*, 1998 (membre du comité de rédaction)
- Numéro spécial sur les design patterns, *L'Objet*, 1998 (membre du comité de rédaction)

Perrot J.-F.,

- Numéro spécial sur les systèmes à objets, *Technique et science informatiques*, juin 1996 (co-rédacteur invité avec A. Napoli)

Organisation scientifique de congrès et colloques

Président de conférence

Briot J.-P.,

- Workshop on Parallel languages, programming, and high-level control, Euro-Par'96, Lyon, août 1996 (co-organisateur avec I. Foster)

Drogoul A.,

- Workshop Animal Societies and DAI, ICMAS'96, Nara, Japon, décembre 1996
- Workshop CRW'98, Agents'World/ICMAS'98, Cité des Sciences, Paris, juillet 1998
- ICMAS'98, Paris, juillet 1998 (Président du Comité d'Organisation)

Meyer J.-A.,

- First European Workshop on Evolutionary Robotics, EvoRobot'98, Paris, avril 1998
- The Fifth International Conference on Simulation of Adaptive Behavior: From Animals to Animats, SAB98, Zürich, Suisse, 1998

Membre de comité de programme ou de comité scientifique d'un congrès

Briot J.-P.,

- European Conference on Parallelism Euro-Par'96, Lyon, août 1996
- European Conference on Object-Oriented Programming ECOOP'98, Bruxelles, Belgique, juillet 1998
- ECOOP'99, Lisbonne, Portugal, 1999
- Deuxièmes Journées Franco-Japonaises sur la programmation parallèle et répartie par objets — Workshop on Object-Based Parallel and Distributed Computation (OBPDC'97), Toulouse, octobre 1997 (co-organisateur avec T. Baba et J.-P. Bahsoun)
- Colloque francophone sur les Langages et Modèles à Objets LMO'96, Leysin, Suisse, octobre 1996
- LMO'97, Roscoff, octobre 1997
- Journées Francophones des Langages Applicatifs JFLA'97, Dolomieu, janvier 1997
- 5èmes Journées Francophones sur l'Intelligence Artificielle Distribuée et les Systèmes Multi-Agents JFIADSMA'98, Pont-à-Mousson, novembre 1998
- Conférence Ingénierie des Connaissances IC'98, Pont-à-Mousson, mai 1998
- International Conference on Web-based Modeling & Simulation WebSim'98, San Diego, Etats-Unis, janvier 1998
- WebSim'99, San Francisco, Etats-Unis, janvier 1999
- Membre du EuroPar Conference Advisory Board, depuis 1996
- Ecole d'Eté CIMPA-INRIA, Langages et modèles à objets, Nice, juillet 1996 (membre du comité scientifique)

Collinot A.,

- 3èmes, 4èmes et 5èmes journées francophones sur l'intelligence artificielle distribuée et les systèmes multi-agents, Port-Camargue 1996 et La Colle sur-Loup, 1997
- 6èmes et 7èmes journées acquisition des connaissances du PRC-GDR-IA, 1996
- 10ème congrès RFIA'96, Rennes, 1996
- Workshop "Animal Societies and DAI" à ICMAS'96, Nara, Japon, 1996
- MAAMAW'97, 7ème Workshop européen sur l'IAD et les systèmes multi-agents, 1997

Doucet A.,

- BDA 96, Cassis, 1996

Drogoul A.,

- Workshop MIROSOT'96 (Micro-Robot World Cup Soccer Tournament) Taejon, Corée du Sud, 1996
- RJCIA'96, Nantes, 1996
- 5èmes journées francophones sur l'intelligence artificielle distribuée et les systèmes multi-agents, La Colle-sur-Loup, 1997
- ICCS&SS'97 (International Conference on Computer Simulation & Social Sciences) Sienna, Italie, septembre 1997
- Workshop RoboCup'97 à IJCAI'97, Tokyo, Japon, août 1997
- ICMAS'98, La Cité des Sciences, Paris, France, juillet 1998
- RoboCup'98, La Cité des Sciences, Paris, France, juillet 1998
- IBERAMIA'98, Lisbonne, Portugal, septembre 1998

Ferber J.,

- International Conference on Multi-Agent Systems (ICMAS), Kyoto, Japon, 1996 (membre de l'*Advisory Board* et du comité de programme)
- Journées CRAC'96 (contrôle réparti dans les applications coopératives), Paris, 1996
- International Conference on Simulation of Adaptive Behavior (From Animals to Animats) 1996, Cape Cod, Etats-Unis, 1996
- MAAMAW'96, 6ème Workshop européen sur l'IAD et les systèmes multi-agents, Eindhoven, Pays-Bas, 1996

Meyer J.-A.,

- The sixth International Conference on Artificial Life, ALIFE VI, Los Angeles, Etats-Unis, 1998
- First International Workshop on Collective Robotics, CRW98, Paris, 1998
- European Symposium on Artificial Neural Networks, ESANN98, Bruges, Belgique, 1998
- First European Workshop on Evolutionary Programming, EuroGP, Paris, 1998
- IEEE International Conference on Evolutionary Computation, ICEC98, Anchorage, Etats-Unis, 1998
- Learning'98, Madrid, Espagne, 1998
- The Fifth International Conference on Parallel Problem Solving From Nature, PPSN98, Amsterdam, Pays-Bas, 1998
- The First International Conference on Virtual Worlds, Paris, 1998
- The Third International Conference on Multi-Agents Systems, ICMAS98, Paris, 1998

Pachet F.,

- Ingénierie des Connaissances, IC'97, Paris, 1997
- IC'98, Pont-à-Mousson, 1998
- Tools Usa'97, Santa Barbara, Etats-Unis, 1997
- Journées d'Informatique Musicale, JIM'97, Lyon, 1997
- Flairs 98, Special Track on Intelligent Tutoring Systems
- LMO'99 (Langages et modèles à Objets), 1999
- Workshop ECAI'98 sur “contraintes dans le domaine artistique” (organisateur).
- Journées d'Informatique Musicale (comité de pilotage)
- Brazilian Computer Music Conference (NUCOM).

Perrot J.-F.,

- CARI'96
- LMO'96, Leysin, Suisse, 1996
- JFLA'97, Dolomieu, 1997
- Colloques Langages et Modèles à Objets (comité de pilotage depuis 1996)
- 01 Design'97

Organisation de séminaires

Briot J.-P.,

- Séminaire du thème OASIS (responsable scientifique et co-organisateur avec B. Lesueur)

Collinot A.,

- Séminaire Intelligence Artificielle de l'AFCEC (en collaboration avec J. Pitrat et J.-L. Dormoy)

Doucet A.,

- Séminaire Bases de Données Ile de France

Administration de la recherche

Blain G.,

- Responsable adjoint du DESS génie des logiciels applicatifs (UPMC), chargé des relations avec les industriels

Briot J.-P.,

- Membre du conseil scientifique des thèmes, LIP6
- Membre du comité scientifique du projet ARCHISIM, INRETS
- Membre extérieur de la commission de spécialistes, section informatique, Université d'Evry

Collinot A.,

- Membre du comité scientifique du LAFORIA (jusqu'à 1996)
- Membre extérieur de la commission de spécialistes, section informatique, UPMC

Doucet A.,

- Co-responsable du DEA MISI (Ecole nationale des mines de Paris, Université Paris Versailles-St-Quentin, UPMC) pour l'UPMC
- Responsable du DESS Intelligence Artificielle
- Membre du conseil d'UFR d'informatique, UPMC
- Coordinatrice scientifique de la DS1 (Direction Scientifique Mathématiques et Informatique) du MENRT

Meyer J.-A.,

- Membre du Comité de Direction de l'International Society for Adaptive Behavior (ISAB)
- Responsable Scientifique de l'un des Main Academic Nodes du Réseau d'excellence Européen EVONET (Evolutionary Computation)
- Membre du Comité de Direction du Réseau d'excellence Européen EVONET (Evolutionary Computation)
- Membre de l'International Steering Group du MSc degree in Evolutionary and Adaptive Systems, Sussex University, Royaume Uni
- Membre du Comité de Gestion du DEA de Biomathématiques (UPMC et Paris 7)

Paliès O.,

- Membre du bureau de l'UFR d'informatique (UPMC), jusqu'en octobre 1996
- Présidente de la commission des locaux de l'IBP, puis de l'UFR
- Responsable adjoint du DESS génie des logiciels applicatifs (UPMC), chargée des questions administratives
- Organisatrice et animatrice d'une formation personnalisée de bureautique (traitement de texte et tableur) en direction du personnel administratif du LIP6

Pachet F.,

- Responsable du thème Objets et formalismes orthogonaux pour le pôle Objets du GDR Programmation.
- Membre du bureau du Gracq

Perrot J-F.,

- Directeur du LIP6
- Responsable du DESS génie des logiciels applicatifs
- Membre du comité scientifique restreint (96) de l'I3S (URA 1376, Université de Nice)
- Membre du conseil d'administration (UPMC)
- Chargé de mission pour la Prospective auprès du président (UPMC) (jusqu'en 1998)
- Membre du conseil de l'UFR d'informatique (UPMC)
- Président de SPECIF (1995-96)

Ziane M.,

- Membre de la commission de spécialistes, section informatique (Université Paris 5) (jusqu'en 1998).
- Membre extérieur suppléant de la commission de spécialistes (UPMC)

Formation par la recherche

Habilitations et thèses (10)

Breidenstein T., *MAGE : une méthode de modélisation des processus de gestion. Application à l'imputation comptable*, Thèse d'université, UPMC, 20/06/97, encadrée par Perrot J.-F.

Chikhi Y., *Réutilisation de structures de données réutilisables dans le domaine des réseaux électriques*, Thèse d'université, UPMC, 7/7/98, encadrée par Pachet F.

Girard M., *ADAM : un Gestionnaire d'Applications Réparties en Environnement Dynamique*, Thèse d'université, UPMC, 5/01/98, encadrée par Briot J.-P. et Jacopin E.

Guessoum Z., *Un environnement opérationnel de conception et de réalisation de systèmes multi-agents*, Thèse d'université, UPMC, 22/05/96, encadrée par Perrot J.-F.

Lhuillier M., *Une approche à base de composants logiciels pour la conception d'agents. Principes et mise en œuvre à travers la plateforme Maleva*, Thèse d'université, UPMC, 17/02/98, encadrée par Briot J.-P. et Ferber J.

Magnin L., *Modélisation de l'environnement dans les systèmes multi-agents (application aux robots footballeurs)*, Thèse d'université, UPMC, 28/11/96, encadrée par Ferber J.

Monties S., *Cohérence des bases d'objets multiversions*, Thèse d'université, Univ. Paris 1, 24/10/97, encadrée par Doucet A.

- Pachet F.**, *Langages à objets et représentation de connaissances*, Habilitation à diriger des recherches, encadrée par Perrot J.-F., 15/05/97.
- Policella P.-Y.**, *Cohérence dans les bases de données orientées objets*, Thèse d'université, Université d'Orsay, 11/06/96, encadrée par Doucet A.
- Revault N.**, *Principes de méta-modélisation pour l'utilisation de canevas d'applications à objets (MÉTAGEN et les frameworks)*, Thèse d'université, UPMC, 19/11/96, encadrée par Blain G.
- Slodzian A.**, *A componential methodology for modeling multi-agent cooperation*, Thèse d'université, UPMC et Vrije Universiteit Brussel, 7/5/98, co-encadrée par Perrot J.-F. et Steels L (VUB)

Projets et contrats

Participation aux grands programmes de recherche nationaux

ACCSV (Actions concertées et coordonnées pour les sciences du vivant),
Thème Biodiversité
Responsable scientifique : A. Drogoul, durée : 1997, financement : 10 kF
Objectif : modélisation des peuplements de poissons
Partenaires : INRA SHL, ORSTOM HEA, ORSTOM LIA

PREDIT 1996/2000, Groupe conception/production
Responsable scientifique: A. Drogoul, durée: 2 ans, financement: 1.600 kF
Objectif : Cf. projet Carosse ci-dessous.
Partenaires : LORIA, PSA

CORESMA (Programme ARTICA MENESR)
Responsable scientifique : D. Gaïti (associée) et J. Ferber, durée : 1995-97,
financement : 430 kF et 120 kF
Objectif : simulation comportementale d'un réseau ATM pour un contrôle de
congestion à base de systèmes multi-agents.
Partenaires : LAMSADE, LIRMM, THOMSON

Contrats avec les établissements publics

CTI CNET CARISMA [Conception, Analyse et Réalisation Interactive de
Systèmes Multi-Agents]
Responsables scientifiques : Pascal Estrailier, Jacques Ferber, Jean-Pierre Briot,
durée : 1996-1998, financement total (géré par thème SRC) : 1800 kF
Consultation thématique (CTI) CNET. L'objectif de ce projet est de fournir à
un concepteur de logiciel les moyens de modéliser, valider et réaliser des
logiciels coopératifs de type agent. L'application test consiste en la
modélisation des services d'une agence de voyage, et en particulier le problème
du suivi de contrat.
Partenaires : Thème SRC, LIRMM

CTI CNET [Jardins de Données]
Responsable scientifique : A. Drogoul, durée : 6/98-6/2000, financement :
500 kF
L'objectif de ce projet est de générer des interfaces utilisateurs permettant le
suivi de données numériques en temps réel, en partant de la métaphore d'un
jardin artificiel soumis aux variations de données météorologiques.

Banque de France [Intégration d'un SGBDOO au sein d'une infrastructure
Intranet]
Responsable scientifique : A. Doucet, durée : 11/96-2/97, financement : 54 kF

DGA [Intercoop]
Responsable scientifique : A. Cardon, durée : 1/1/98-31/12/98, financement : 280 kF.
L'objectif est de décrire formellement les conditions de la coopération entre des systèmes interopérables.

Contrats industriels

PSA Peugeot-Citroën
Projet Carosse [Conception, Analyse et Réalisation de l'Organisation de Sous-Systèmes Electroniques Embarqués]
Responsables scientifiques : A. Collinot et J.-P. Briot, durée : 11/97-11/98, financement : 650 kF

SONY-CSL Paris
Convention CIFRE [Simulation de l'Origine et Evolution du Langage, thèse de F. Kaplan]
Responsable scientifique : A. Drogoul, durée : 9/97-9/2000, financement : 117 kF

Dassault-Aviation
Convention CIFRE [Méthodologie de conception et environnement de développement de systèmes multi-agents, thèse de S. Rémy]
Responsable scientifique : A. Collinot, durée : 3/98-3/2001, financement : 150 kF

CDC Informatique [Modélisation des applications de gestion]
Responsable scientifique : J.-F. Perrot, durée : 7/94-6/97, financement : 100 kF

Unilog Consultants [Environnement de programmation collective par objets]
Responsable scientifique : G. Blain, durée : 1/95-1/99, financement : 80 kF

EDF [Etude sur l'ingénierie des composants réutilisables et des applications par réutilisation]
Responsable scientifique : F. Pachet, durée : 6/96-6/98, financement : 66 kF

EDF [Etude du marché électrique]
Responsables scientifiques : Z. Guessoum et J.-P. Briot, durée : 6/98-12/98, financement : 90 kF

INA [Synchronisation son-image en dessin animé assisté par ordinateur]
Responsable scientifique : F. Pachet, durée : 3/97-3/99, financement : 60 kF

Contrats internationaux

4MISD (FMC Practical Training Courses n° 950034)
Method modelling and meta modelling in information system development
Responsable scientifique : G. Blain, durée : 01/96-12/98

LUPACS (Environnement et climat n° 0241)
Responsables scientifiques : O. Caetano, A. Doucet, J. Mathieu, durée : 5/96-4/99, financement : 500 kF (en coopération avec le thème SYSDEF)
Land Use Planning and Chemical Sites
Partenaires : Risoe National Laboratory (DK), Swedish Rescue Services Agency (S), JRC Ispra (I), NCSR Demokritos (G), DEMA (DK), County Board of Sodermanland (S), County Board of West Zealand (DK), Fredericia Community (DK)

FIBOF (ESPRIT IV n° 21966)
Responsable scientifique : G. Blain, durée : 09/96-08/98, financement : 335 kF
Financial Business Object Framework
Partenaires : El Monte (E), ECI SA, SOLERI

AgentLink (ESPRIT IV Réseau d'excellence n° 27225)
Représentants du noeud Paris 6/LIP6 : J.-P. Briot, A. Collinot, A. Drogoul
durée : 1998-1999
Réseau Européen d'excellence sur les agents

UPMC-Vrije Universiteit Brussel (VUB), AI Lab
Responsable scientifique : J.-F. Perrot, durée : 1995-2000
Co-tutelle de thèse d'Aurélien Slodzian

Apprentissage et acquisition des connaissances

Pitrat Jacques

Akdag Herman
d'Alché-Buc Florence
Caraty Marie-José
Bouchon-Meunier Bernadette
Gacôgne Louis
Gallinari Patrick
Ganascia Jean-Gabriel
Lifchitz Alain
Montacié Claude
Visetti Yves-Marie
Zucker Jean-Daniel

Directeur de Recherche, CNRS
Professeur, Université de Reims
Maître de Conférences, UPMC
Maître de Conférences, UPMC
Directeur de Recherche, CNRS
Professeur agrégé, IIE Evry
Professeur, UPMC
Professeur, UPMC
Chargé de Recherche, CNRS
Maître de Conférences, UPMC
Chargé de Recherche, CNRS
Maître de Conférences, UPMC

ITA-IATOS

Kieu Lê Quyên¹

Ingénieur de Recherche, CNRS

Personnel temporaire

Bournaud Isabelle
Cazenave Tristan
Faron Catherine
Guermeur Yann
Leray Philippe
Li Haifeng
Marsala Christophe
Pecego Georges
Rifqi Maria
Rolland Pierre-Yves

Post-doc
ATER, UPMC
ATER, Orléans
ATER, ENS Lyon
ATER, Paris 13
Post doc, boursier gouvernement chinois
ATER, IUT Paris 13
ATER, IUT Paris 13
ATER, UPMC
ATER, UPMC

Doctorants présents 80% du temps au LIP6

Akoulchina Irina (Ganascia, 94)
Amini Massih-Reza (Gallinari, 97)
Banto Anca (Ganascia, 96)
Brouard Christophe (Bouchon-Meunier, 96)
Detyniecki Martin (Bouchon/Yager, 97)
Fredon Arnaud (Pitrat, 96)
Lefèvre Fabrice (Montacié, 95)

Mellouli Nédra (Bouchon, 97)
Meyer Christophe (Ganascia, 95)
Moneret Régis (Pitrat, 96)
Petridis Sergios (Caraty/Montacié, 97)
Thiré Frédéric (Ganascia, 94)
Zaragoza Hugo (Gallinari, 95)

Doctorants présents moins de 80% du temps au LIP6

Aladenise Nathalie (Bouchon-Meunier, 94)
Bellili Abdelouahab (Gallinari, 97)
Darricau Myriam (Hadj-Mabrouk/Ganascia, 95)
Delechamps Yannick (Sellam/Bouchon, 95)
Eude Virginie (Bouchon-Meunier, 95)
Gérard Olivier (Gallinari/d'Alché-Buc, 95)
Grimaldi Vincent (Gallinari, 93)

Mustière Sébastien (Zucker/Chirié, 97)
Rick Andreas (Bouchon-Meunier, 96)
Sefrioui Mourad (Ganascia/Périaux, 94)
Thomas Olivier (Ganascia, 97)
Toudeft Abdelmoumène (Gallinari, 92)
Zerrouki Leila (Bouchon-Meunier, 94)

Suite au verso

¹ détachée à mi-temps au GIS Sciences de la Cognition

Associés au LIP6

Dormoy Jean-Luc
Laurière Jean-Louis
Lucas Jean-Yves
Masson Michel
Pastre Dominique
Périaux Jacques
Pintado Michel
Ramdani Mohammed

Ingénieur-Chercheur, EDF/DER
Professeur, UPMC
Ingénieur-Chercheur, EDF/DER
Maître de Conférences, Univ. Paris 9
Professeur, Université Paris 5
Expert émérite, Dassault Aviation
Chercheur INRETS
Maître-assistant, Fac. Mohammadia (Maroc)

Trois des équipes du thème sont davantage axées sur l'apprentissage numérique et les deux autres sur l'apprentissage symbolique. Mais pour de nombreux sujets, comme la fouille de données ou les applications aux langues naturelles, ces deux modes d'apprentissage sont simultanément nécessaires. Aussi le développement de systèmes symboliques-numériques prendra de plus en plus d'importance. Certains projets ont déjà été effectués en liaison avec des membres de plusieurs équipes et cela va devenir de plus en plus fréquent. Nous allons voir également apparaître des collaborations entre thèmes, particulièrement dans les applications faisant intervenir le multimédia.

Nous allons poursuivre les études théoriques qui sont importantes pour l'apprentissage et l'acquisition de connaissances. C'est le cas de la généralisation dont on pourra fonder la formalisation algébrique sur les notions d'appariement et de treillis distributif ; on peut également donner la possibilité de généraliser en toute sécurité avec les techniques d'EBL (Explanation Based Learning) où un système ne généralise qu'après qu'il ait compris les raisons d'un succès ou d'un échec.

Aussi bien pour l'apprentissage que pour l'acquisition des connaissances, la logique floue et la théorie des possibilités apportent une aide précieuse ; elles permettent le traitement de connaissances graduelles, le raisonnement analogique, prototypique, interpolatif. Cela offre une souplesse adaptée aux situations imparfaitement connues et permet la mise au point de systèmes efficaces d'aide à la décision. Cela est particulièrement utile dans la fouille de données, où l'apprentissage flou à partir d'exemples, la théorie des possibilités, les relations floues de ressemblance constituent des outils permettant d'appréhender des descripteurs imprécis.

Un travail de modélisation est nécessaire, en particulier pour les applications aux langues naturelles. On étudiera par exemple la modélisation linguistique du langage parlé et écrit, la modélisation acoustique (traitement d'antenne) ainsi que la représentation des unités phonétiques (densités de probabilité non paramétriques).

Nous voulons mettre en œuvre les méthodes théoriques ainsi élaborées. Plusieurs applications seront liées aux langues naturelles. C'est ainsi que nous poursuivrons le développement de notre système D-DAL de dictée vocale et l'étendrons à la vérification du texte prononcé dans le cadre de la reconnaissance du locuteur. Ces techniques pourront être appliquées à d'autres domaines, comme l'indexation de bases de données audio-vidéo. Nous allons par ailleurs développer le système de reconnaissance de l'écriture dont nous avons déjà mis au point un prototype en collaboration avec l'Institut National des Télécommunications. Nous étudierons comment indexer des textes en les catégorisant pour le filtrage des documents. Nous réaliserons des systèmes capables d'acquérir des règles phonétiques pour la prononciation des caractères chinois, de construire des taxonomies d'idéogrammes chinois et de reconnaître une langue à partir d'un court texte oral.

Le traitement de données sous forme de séquences intervient souvent dans les applications aux langues naturelles, mais il intervient dans bien d'autres domaines que nous comptons aborder ou continuer de traiter comme le génome, la reconnaissance des odeurs et la musique. C'est ainsi qu'après avoir simulé l'improvisation d'un joueur de basse dans une section rythmique de jazz, nous travaillons sur la détection de motifs récurrents afin d'analyser les œuvres et de les indexer dans une mémoire musicale.

Plusieurs applications seront liées aux jeux. Notre but n'est pas tant la réalisation de programmes ayant de très bonnes performances que de prendre les jeux comme support pour étudier des problèmes fondamentaux de l'IA, par exemple l'apprentissage de stratégies ou de l'anticipation des comportements.

La fouille de données (data mining) est un secteur qui a un grand intérêt pratique et nous souhaitons y développer plusieurs applications. L'extraction de connaissances peut se faire dans des textes ou dans les bases de données. Nous projetons par exemple d'appliquer ces techniques au traitement de données issues d'enquêtes prophylactiques et d'essais thérapeutiques.

Bilan synthétique des recherches

Le thème comporte cinq équipes ou groupes : connexionnisme, traitement de l'incertain, apprentissage symbolique et acquisition de connaissances, métaconnaissance. Mais ces équipes étudient souvent le même sujet sous des angles complémentaires et dans ce cas leurs membres établissent des liens inter-groupes.

Groupe Connexionnisme

Dans le domaine des réseaux de neurones, nos travaux sont principalement organisés en cinq axes. Les trois premiers correspondent à des problématiques générales du domaine, un grand nombre des problèmes sur lesquels nous travaillons sont à cheval sur ces différents axes. Un quatrième est centré sur une classe d'applications. Le dernier concerne la modélisation de la polysémie et de la non-compositionalité en sémantique linguistique.

Un premier axe formel concerne l'étude d'un des problèmes cruciaux de l'apprentissage qui est la généralisation : comment, à partir d'informations limitées fournies par des données, construire une machine qui fonctionne le mieux possible sur des nouvelles données. Différentes approches ont été initiées ou développées dans le domaine, qui vont de l'étude de théories de la complexité pour des systèmes continus à des travaux basés sur les statistiques dans des cas asymptotiques ou non asymptotiques. En France, le groupe de travail du GDR IA "Approches formelles de l'apprentissage, réseaux de neurones", animé par P. Gallinari, se consacre à l'étude de ces problèmes. Nous avons travaillé sur le contrôle effectif de la complexité des modèles et, dans le cadre de la classification, sur la fusion de décisions issues de différents modèles.

Un second axe concerne le traitement de séquences. Les problèmes où apparaissent des données sous forme de séquence sont nombreux (biologie, signal, texte...). Les réseaux de neurones offrent une panoplie d'outils importante pour détecter des événements, classifier ou prédire des séquences. Nous avons développé des modèles pour l'analyse de séquences qui ont été appliqués à différents problèmes : prédiction de la structure secondaire des protéines, parole, écrit " on line ", série d'indicateurs du trafic téléphonique, prévision de décharge.

Un troisième axe concerne la conception de systèmes symboliques-numériques. Cette problématique ancienne se retrouve dans de nombreux problèmes que nous avons traité : compréhension de textes et de parole, traitement de données biologiques, diagnostic dans les systèmes complexes, écrit. Nous avons étudié pour chacun de ces problèmes comment incorporer des connaissances dans un système numérique, comment construire des systèmes hiérarchiques dont les différents modules opèrent à des niveaux différents de représentation

et comment faire communiquer ces modules. Plusieurs des problèmes que nous traitons relèvent simultanément des axes 2 et 3 du groupe.

Le quatrième axe concerne les problèmes de diagnostic dans des systèmes complexes que nous avons abordé dans le cadre d'un contrat avec le CNET et d'une étude avec Schneider Electric.

Enfin, le dernier axe qui a trait à la sémantique linguistique cherche à sortir de l'usage exclusif de structures discrètes qui a jusqu'ici prévalu. L'objectif de ce travail est de trouver des variantes aux représentations "classiques" des structures lexicales et grammaticales en les reconstruisant comme des potentiels de formes sur des espaces munis de dynamiques. Dans ce cadre, les modèles connexionnistes récurrents sont l'outil d'implémentation de ces dynamiques.

Groupe Logique floue et traitement des incertitudes (LOFTI)

Nos travaux ont porté sur l'apprentissage, la représentation et l'exploitation de connaissances imparfaites, c'est-à-dire imprécises et/ou incertaines.

Nous avons travaillé sur des méthodes d'apprentissage à partir d'exemples, dans les cas où les descriptions des exemples sont numériques et imprécises ou encore tantôt numériques tantôt symboliques (c'est-à-dire exprimées en langue naturelle), en utilisant la logique floue. Nous avons aussi mis au point des méthodes utilisant des réseaux de neurones en collaboration avec le groupe de P. Gallinari, ainsi que des algorithmes génétiques, pour l'apprentissage des paramètres et des règles de systèmes flous.

En ce qui concerne la représentation des connaissances, nous avons développé un formalisme général pour les relations de ressemblance ou de dissemblance, à l'aide d'une approche floue, en vue de multiples utilisations telles que le raisonnement prototypique ou par analogie, l'apprentissage inductif ou le traitement d'images par exemple, permettant le choix de l'outil approprié au problème posé. Nous avons étudié les relations de ressemblance satisfaisantes pour un raisonnement analogique. Des réseaux sémantiques possibilistes ont été mis au point afin de les utiliser dans un système d'interface entre l'homme et la machine. Nous avons également apporté des éléments pour la modélisation de systèmes flous que nous utilisons pour approcher des systèmes complexes, tels que des réseaux de transport par exemple. Une gestion d'incertitudes symboliques a été envisagée à l'aide d'une approche de logique non classique.

Pour l'exploitation des connaissances imparfaites, nous avons développé diverses méthodes floues ou possibilistes d'optimisation, de commande, de traitement d'images, d'agrégation d'informations, de comparaison d'objets, de déduction. Nous avons traité plusieurs problèmes d'aide à la décision, tels que l'exploitation d'informations imprécises et incertaines pour le contrôle du trafic d'un métro automatique, l'aide à la préparation de mission aérienne, l'analyse d'images mammographiques en vue d'une aide au diagnostic du cancer du sein, le contrôle de qualité de pièces de fonderie à partir de l'identification de la gravité de leurs déformations éventuelles, la supervision du trafic aérien et celle de réseaux d'assainissement, l'aide à la décision dans un contexte militaire. Nous avons également présenté des méthodes de fouille de données et d'extraction de connaissances à partir de bases de données.

Groupe Parole

Dans nos activités de recherche, nous nous attachons au développement de nouvelles méthodes en reconnaissance des formes et en intelligence artificielle appliquées au

traitement automatique de la parole. Nos domaines d'étude essentiels sont la reconnaissance de la parole et du locuteur. Chacun de ces thèmes a sa propre problématique, mais ils concourent tous à une communication parlée homme/machine utilisable dans des conditions réelles. La reconnaissance de la parole et du locuteur vise à extraire d'un même signal de parole deux informations a priori non redondantes : le contenu du discours et les caractéristiques du locuteur. Nous avons développé pour cela deux systèmes, Orphée et D-DAL, qui ont été testés dans des conditions proches de leur future utilisation, qu'il s'agisse des performances attendues et du volume des données traitées. Le premier est un système de reconnaissance du locuteur indépendant du texte, le deuxième est un système de dictée vocale indépendant du locuteur. Ces deux systèmes sont utilisés dans un projet d'indexation multimédia, le projet TRANSDOC.

Groupe ACASA

L'apprentissage symbolique automatique recouvre un ensemble de techniques algorithmiques visant à doter les machines de capacités d'apprentissage, que ce soit pour que les machines tirent parti de leurs expériences afin d'exécuter, avec une plus grande agilité, des tâches routinières, ou pour qu'elles construisent des bases de connaissances de systèmes experts, ou encore, pour qu'elles extraient des connaissances à partir de bases de données anodines.

L'acquisition des connaissances, quant à elle, s'est d'abord présentée comme une ingénierie des systèmes à base de connaissances, autrement dit, comme un ensemble de méthodes de construction de systèmes experts. Puis, progressivement, elle s'est attachée à la modélisation des connaissances, jusqu'à désigner tout autant l'acquisition de connaissances par l'homme, au moyen de machines, que l'acquisition de connaissance pour les machines, à partir du savoir et du savoir-faire d'hommes de métier.

Dans tous ces cas, les techniques d'apprentissage symbolique sont fort utiles pour l'acquisition des connaissances ; c'est ce qui motive les orientations scientifiques du groupe ACASA.

Contribution à l'apprentissage symbolique

J.-G. Ganascia a mis à la disposition du groupe, le logiciel CHARADE issu de sa thèse d'Etat. Nous l'avons expérimenté sur des applications de grande taille, par exemple, sur la catégorisation de textes avec I. Moulinier et G. Raskinis, et sur la fouille de données — appelée aussi découverte de connaissances dans les bases de données, ou encore, extraction de données — dans le domaine médical, avec A. Attipoe, lors de son stage de DEA, avec V. Corruble, au cours de sa thèse d'université, enfin, avec A. Banto, au cours de son stage de DEA.

J.-G. Ganascia a étendu, avec J.-D. Zucker, les fonctionnalités de CHARADE, en le couplant avec un mécanisme d'appariement structurel particulièrement efficace faisant appel à la notion originale de “morion”.

La familiarité acquise avec l'emploi des treillis en apprentissage, avait conduit, dès 1988, à imaginer des techniques originales de regroupement conceptuel sur des graphes de Sowa. Celles-ci ont été programmées et expérimentées par I. Bournaud, ce qui lui a permis de soutenir sa thèse d'université en 1996.

Contribution à l'ingénierie des connaissances

Du côté de l'acquisition des connaissances, notre contribution, s'est d'abord faite au travers du contrat ESPRIT VITAL dont nous avons été sous-contractant, par l'intermédiaire de l'ONERA qui finançait deux étudiants inscrits en thèse, J. Thomas et B. Le Roux.

Nous avons réalisé une symbiose entre les modèles d'acquisition des connaissances inspirés de la méthodologie KADS, et les entrées du système CHARADE, pour lequel ces modèles se présentent comme une formulation claire du biais d'apprentissage. Il en est résulté un logiciel programmé par J. Thomas pour sa thèse d'université.

D'autres travaux, poursuivis en collaboration avec l'ONERA et avec la Banque de France, ont porté sur l'approfondissement des notions de modèle de connaissance, telles qu'elles ont été promues par l'acquisition des connaissances dans le courant des années quatre-vingt. Ces travaux conduits en liaison avec des partenaires en prise avec des applications pratiques, ont débouché sur les thèses de B. Le Roux et de C. Vicat.

Les travaux d'I. Bournaud, déjà évoqués, et qui portaient sur le regroupement conceptuel d'objets décrits par des graphes de Sowa, étaient directement liés aux travaux poursuivis avec E. Aïmeur puis C. Faron, sur l'acquisition de connaissances taxinomiques exprimées sous forme de graphes de Sowa. Les travaux de C. Faron abordent en particulier la représentation et la gestion d'exceptions dans les taxinomies. En effet, c'est l'accumulation de grandes quantités d'objets structurés qui justifiait pleinement les tentatives de regroupement conceptuel sur de tels objets.

Approches de la découverte et créativité

Dernier point, l'acquisition des connaissances par l'homme, à l'aide de machine ; c'est certainement l'aspect le plus original du travail conduit par le groupe pendant les quatre dernières années.

Deux projets portent sur l'adaptation d'un agent dans un contexte dynamique et complexe. Dans le premier, il s'agit de la simulation du comportement d'un jazzman jouant en direct avec un orchestre. Dans le second, la simulation porte sur le comportement d'un joueur, face à un ou plusieurs adversaires dans des jeux de stratégie. Dans les deux cas, on fait appel à une modélisation de l'environnement pour que l'agent ait des réactions adéquates et puisse anticiper les événements. Dans ces simulations, nous faisons appel à des techniques de raisonnement par cas et à des algorithmes génétiques.

Dans un registre analogue, nous avons abordé l'aide à la découverte dans le domaine de la biologie moléculaire, avec I. Tchoumatchenko, et dans le domaine musical, pour l'extraction de motifs récurrents à partir de corpus de musique improvisée, avec P.-Y. Rolland, actuellement en thèse d'université.

Groupe Métaconnaissance

Nous avons expérimenté plusieurs systèmes qui portent sur l'utilisation des connaissances, que ce soit pour montrer l'intérêt d'avoir des connaissances déclaratives ou pour simuler le comportement humain. Deux de ces applications, DIACODEX (Masson, 1996) et Indigo (Bouzy, 1996) ont montré qu'il était possible de réaliser des systèmes utilisant des connaissances données sous une forme très déclarative. Par ailleurs, GénéCom (Nigro, 1996) a mis en évidence l'intérêt du déclaratif pour analyser et commenter le déroulement d'une partie de tarot. Gobelin (Ricaud, 1997) a montré la possibilité pour un système d'abstraire les situations : il est bien plus facile de trouver une bonne décision et de

l'expliquer dans l'univers abstrait. MACISTE (Pitrat, 1996) a mis en évidence la souplesse venant de l'utilisation de métaconnaissances déclaratives pour résoudre des problèmes avec contraintes.

Mais les métaconnaissances déclaratives sont également utiles pour l'apprentissage. Gogol (Cazenave, 1996) l'a bien montré en créant une partie d'un système qui a tenu tête à des systèmes améliorés depuis de nombreuses années par des programmeurs humains. Ce système est également capable d'utiliser efficacement les connaissances déclaratives qu'il trouve, ce qui est indispensable quand il joue sur un goban de 19X19 intersections. MACISTE (Pitrat, 1996) a reçu de nouvelles possibilités pour examiner ce qu'il fait et pour expérimenter, deux capacités qui sont un préalable indispensable pour un apprentissage intelligent. Pour sa part, Asgard (Turle, 1996) a déjà réussi à obtenir une partie des concepts trouvés par les systèmes de Lenat, mais en contraignant beaucoup moins son système. Enfin, SYGEP (Pecego, 1996) a créé de nombreux problèmes dans des domaines variés en arrivant à leur donner un intérêt pédagogique : en proposant des couples de problèmes, le système doit aider les élèves à comprendre la nature des phénomènes physiques, plutôt que de leur faire utiliser mécaniquement des formules.

Bilan détaillé des recherches

Aspects formels des réseaux de neurones

F. D'ALCHÉ-BUC, T. CIBAS, P. GALLINARI, Y. GUERMEUR

Le point crucial de l'apprentissage statistique est la minimisation de l'erreur dite de généralisation. Nous avons travaillé sur des méthodes pratiques permettant de contrôler la complexité des modèles en fonction de celle du problème. Ces méthodes sont soit issues de la théorie de la régularisation et visent à limiter la complexité de modèles potentiellement trop riches, soit des méthodes constructives qui enrichissent progressivement le modèle. Nous avons également travaillé sur le problème de la sélection des caractéristiques et développé des algorithmes neuronaux. Ces techniques ont ensuite été utilisées sur plusieurs problèmes de grande taille. Par ailleurs, nous nous intéressons également à l'évaluation de performances des algorithmes d'apprentissage statistique. En particulier, des études empiriques du comportement asymptotique d'un réseau permettent d'en évaluer la consistance et de sélectionner le modèle de réseau adéquat au problème.

Afin d'améliorer les performances des systèmes de classification, il est devenu courant d'utiliser des combinaisons de modèles de nature différente. Nous avons proposé un nouvel algorithme pour optimiser les combinaisons linéaires de classifieurs.

Traitement de séquences

F. D'ALCHÉ-BUC, T. ARTIÈRES, P. GALLINARI, O. GÉRARD, Y. GUERMEUR,
A. LIFCHITZ, A. STÉVENIN

De nombreuses données existent sous la forme de séquences. Leur traitement pose des problèmes génériques que l'on retrouve souvent de façon très similaire pour des séquences issues de mondes très différents. Parmi ceux-ci, nous nous sommes plus particulièrement intéressés aux problèmes de la modélisation de séquences non stationnaires, à la prise en compte, d'une part, des interactions à court et à long terme, d'autre part, de plusieurs niveaux de connaissance pour le traitement d'une séquence. Ces travaux ont été réalisés à partir de supports applicatifs issus de différents domaines.

Dans le domaine de la parole, nous avons travaillé sur le problème de l'identification du locuteur. Nous avons considéré le problème sous l'angle de la régression. Les modèles développés constituent dans ce cadre une extension des modèles linéaires traditionnellement utilisés. La classe des fonctions représentables étant non limitée, nous pouvons ainsi grâce à ces modèles explorer plusieurs aspects du problème de reconnaissance du locuteur et évaluer leur adéquation au problème. Les principales directions que nous avons étudiées sont : la caractérisation théorique du rôle des non linéarités, les liens entre complexité des modèles et performances de classification, l'ajustement automatique de cette complexité pendant l'apprentissage, la mise en œuvre de modèles multi-états utilisant plusieurs réseaux pour représenter chaque locuteur, l'incorporation de connaissances a priori pour réaliser de l'extraction de caractéristiques ou du rejet.

La reconnaissance de l'écriture cursive *on-line* présente des similarités avec celle de la parole. A partir de modèles initialement créés dans le cadre du décodage acoustico-phonétique, nous avons, par une collaboration avec B. Dorizzi de l'INT, développé des travaux sur la reconnaissance dite *on-line*. Ils portent à la fois sur les outils de modélisation qui sont du type markovien et sur le développement de chaînes de traitement. Les premières études ont porté sur la reconnaissance de lettres. Notre système actuel effectue la reconnaissance de mots. Les tests réalisés démontrent le potentiel de ce système, nous commençons à adapter notre système à la première grande base de données internationale qui vient d'être rendue disponible.

Dans le cadre d'une collaboration avec les Laboratoires d'Electronique Philips (LEP), nous avons développé un système de prédiction de décharge de batteries – problème crucial pour les constructeurs. L'originalité de l'approche réside en la détermination automatique de prédicteurs dont les coefficients dépendent du contexte temporel.

Approches symbolique–numériques pour l'extraction de connaissances

F. D'ALCHÉ-BUC, P. GALLINARI, A. STÉVENIN, H. ZARAGOZA

Il est possible de faire émerger des informations symboliques en entraînant des systèmes numériques pour la réalisation de tâches de haut niveau. Il est alors nécessaire pour le système d'élaborer des représentations des structures correspondant à la tâche. Nous avons ainsi travaillé à la conception de systèmes intégrant d'une part, des mécanismes de gestion temporelle et d'autre part, des connaissances issues de différents niveaux. Ces systèmes ont été mis en œuvre pour réaliser de l'extraction de connaissances sur des données issues de différents domaines.

Ces problématiques ont été abordées en premier lieu dans le cadre de la compréhension de la parole spontanée. Nous avons développé des systèmes récurrents permettant de prendre en compte à la fois la dynamique résultant de la séquence de mots prononcés et celle des concepts qui leur ont été associés. Nous avons incorporé au sein de ces systèmes des connaissances multiples de nature locale et globale. Les premières ont été intégrées en utilisant une modélisation connexionniste, les secondes par des heuristiques inspirées des méthodes de recherche des N-meilleures solutions utilisées en parole. Le système proposé peut constituer une alternative intéressante à des méthodes plus classiques comme les modèles markoviens pour l'intégration de connaissances de haut niveau dans des systèmes de reconnaissance de la parole. Ce système a été testé sur une tâche standard pour la compréhension : la tâche ATIS (Air Transfer Information System). Il s'agit d'un problème qui a été choisi par la communauté internationale comme le représentant type de tâches pratiques d'interrogation en langage naturel. Ces travaux sont actuellement poursuivis sur des tâches de compréhension plus complexes concernant l'extraction de connaissances dans des bases de données textuelles.

En biologie, de nombreux problèmes de traitement de séquence présentent des similarités, avec ceux du langage. On y retrouve les problèmes d'interaction à court et long terme, et l'incorporation de connaissances du domaine. Nous travaillons également sur l'incorporation de connaissances dans des systèmes numériques pour le problème de la reconnaissance de la structure secondaire des protéines.

Nous étudions un cadre de coopération entre des systèmes experts et des systèmes neuronaux pour un problème de prédiction de la fin de la fermentation vinicole en collaboration avec I. Alvarez du CEMAGREF (également chercheur associé au LIP6) et P. Brézillon du thème SYSDEF. Nous développons une approche fondée sur une mesure de la confiance accordée à chaque système prédicteur pour agréger et combiner leurs réponses.

Diagnostic des systèmes complexes

P. GALLINARI, P. LERAY

Nous avons entrepris des études sur différents problèmes de diagnostic dans les systèmes complexes comme les réseaux de télécommunication (en collaboration avec le CNET) et les réseaux électriques. Nous nous intéressons en particulier aux problèmes soulevés par la gestion en temps réel de ces systèmes. Cette problématique est liée aux deux thèmes traitement de séquences et symbolique-numérique. Les données sont généralement des séquences de signaux ou de messages. Le diagnostic fait intervenir plusieurs niveaux de représentation et de connaissance.

Modélisation dynamique et connexionniste en linguistique

Y.-M. VISETTI

Ce travail est effectué en collaboration avec les linguistes et informaticiens de l'ELSAP, en particulier, B. Victorri (CNRS, Paris et Caen). Un modèle théorique linguistique et mathématique de l'intégration du sens au niveau de la phrase simple a été élaboré dans les deux dernières années. Il a fait l'objet de plusieurs exposés (ATALA 96-97). Il est présenté plus complètement dans la revue *Sémiotiques* (numéro spécial dirigé par P. Cadiot, 1997). Le modèle est actuellement mis à l'épreuve sur une étude de groupes nominaux ou noms composés de type *Nom Prep Nom*.

Apprentissage inductif

B. BOUCHON-MEUNIER, C. MARSALA, M. RAMDANI

L'apprentissage inductif suppose donnée une base d'exemples caractérisés par la valeur prise par certains critères (taille, qualité...), et par une décision finale, par exemple l'affectation à une classe (classe de prix par exemple). Nous considérons le cas où ces valeurs sont imprécises ou bien, soit numériques, soit symboliques selon l'exemple. Nous avons étendu les méthodes classiques basées sur la construction d'arbres de décision en autorisant un critère à avoir des valeurs exprimées symboliquement (petite, moyenne...), mais représentées par des sous-ensembles flous de son univers de définition (Bouchon, Marsala, Ramdani) et développé des algorithmes spécifiques pour la discrétisation de valeurs numériques.

Une telle méthode a été utilisée dans un système de traitement d'images mammographiques, afin de sélectionner les critères pertinents pour la détermination du caractère malin de microcalcifications, dans une collaboration avec GEMS-E (Bothorel).

Apprentissage pour les systèmes flous

N. ALADENISE, B. BOUCHON-MEUNIER, L. GACOGNE

L'acquisition des connaissances nécessaires à la mise en œuvre d'un système flou repose souvent sur les connaissances de spécialistes du domaine. Quand de telles connaissances n'existent pas, on peut faire appel à un apprentissage automatique si l'on dispose de données expérimentales suffisantes. Il convient aussi de déterminer les paramètres des fonctions d'appartenance permettant d'établir une interface numérique-symbolique et de représenter par des ensembles flous les caractérisations exprimées linguistiquement (Aladenise, Bouchon). Les méthodes neuronales fournissent des solutions à ce problème et nous avons collaboré avec P. Gallinari pour identifier les paramètres d'un système flou pour la supervision globale du trafic d'un réseau de métro automatique, qui a donné lieu à une maquette dont les résultats expérimentaux sont très satisfaisants (Hartani).

Nous avons aussi élaboré un algorithme de mise en évidence progressive des règles d'une base reposant sur une approche possibiliste des caractérisations intervenant dans les prémisses et les conclusions (Ménage). Ce travail s'insère dans une aide au contrôle de qualité d'une fabrication, effectué dans le cadre d'une collaboration avec GIE-PSA qui a conduit à une maquette d'identification des défauts dans des pièces de fonderie et de leur gravité.

Un autre moyen d'apprendre les paramètres d'un système flou réside dans l'utilisation des algorithmes génétiques pour l'apprentissage de règles floues et de leurs paramètres (Gacogne).

Modélisation de systèmes complexes

B. BOUCHON-MEUNIER, J. DELECHAMP, V. EUDE, L. ZERROUKI

Les théories des ensembles flous et des possibilités permettent une approximation de systèmes complexes (Hartani, Nguyen, Bouchon). Nombres flous, relations floues, graphes flous, modificateurs et quantificateurs flous par exemple, interviennent dans la modélisation d'un système complexe et permettent la mise au point d'algorithmes efficaces d'aide à la décision malgré la présence simultanée d'incertitudes et d'imprécision dans les connaissances. Nous avons collaboré sur de tels concepts avec A. Ralescu et V. Kreinovich, professeurs invités au LAFORIA. Une gestion d'incertitudes symboliques a été envisagée à l'aide d'une approche de logique non classique (Akdag)

Nous avons ainsi participé à la réalisation d'une maquette de *préparation de mission aérienne* sur un projet militaire et mis au point un algorithme d'optimisation de trajectoire sous diverses contraintes floues (Kelman). Ces travaux ont donné lieu à des études théoriques sur l'*agrégation d'informations* à l'aide de divers types d'opérateurs, en particulier des opérateurs faisant appel à une pondération des informations (Kelman), dans une collaboration avec R.R. Yager à Iona College (NY, USA). Nous avons participé à la mise au point de commande floue pour la gestion d'un réseau de télécommunications pour le CNET (Khalfet). Des travaux sur la modélisation de systèmes dans un cadre militaire sont en cours, d'une part pour une collaboration avec Thomson CSF sur le suivi de scénarios soumis à des imprécisions et des incertitudes et évoluant dans le temps (Eude), d'autre part au sujet de l'aide à la décision de tir à partir de blindés dans une collaboration avec GIAT Industries (Aladenise). La modélisation de réseaux de transport aérien est effectuée dans le cadre de travaux menés à l'INRETS (Zerrouki), donnant lieu à des recherches sur le raisonnement interpolatif. La régulation de réseaux d'assainissement aux Ponts et Chaussées fait l'objet d'une modélisation de systèmes à partir de règles graduelles (Delechamp).

Comparaison d'objets flous

B. BOUCHON-MEUNIER, M. RIFQI

Nous avons été confrontés au besoin de comparer des descriptions floues d'objets pour l'utilisation d'arbres de décision, pour la manipulation de réseaux sémantiques flous, pour la formalisation du raisonnement à partir de cas, pour le traitement d'images... Les nombreuses mesures de comparaison d'ensembles flous existant dans la littérature nous ont conduits à proposer une formalisation de mesures de comparaison, qui établit des familles de mesures selon leurs propriétés, conduisant à un choix adapté à chaque problème traité : classification, raisonnement à partir de cas, traitement d'image... (Bouchon, Rifqi). Les catégories mises en évidence sont compatibles avec une étude menée par Tversky dans le cas de la notion de similarité en psychologie. Nous retrouvons les notions classiques (distances, mesures de similarité...) dans ces catégories. Cette étude a été prolongée par l'utilisation de certaines de ces mesures dans la construction de prototypes (Rifqi), avec une application au cas de microcalcifications mammaires. Nous avons aussi étudié les mesures nécessaires à un raisonnement analogique, en collaboration avec L. Valverde (Univ. Iles Baléares) (Bouchon, Valverde).

Extraction de connaissances dans les bases de données

C. MARSALA, M. RIFQI, B. BOUCHON-MEUNIER

Nous avons adapté certains de nos algorithmes et méthodes d'apprentissage (inductif, prototypique) pour les rendre efficaces dans l'extraction de connaissances à partir de bases de données, utilisant les capacités de souplesse et d'expressibilité de ces méthodes d'apprentissage en logique floue pour exploiter des données imparfaitement connues et formuler des règles facilement compréhensibles de l'utilisateur. Nous avons collaboré sur ce sujet avec des chercheurs en bases de données et avec les autres équipes du thème APA.

Interface homme-machine

B. BOUCHON-MEUNIER, C. BROUARD, N. OMRI

La gradualité qui intervient dans la définition de catégories manipulées par des acteurs humains conduit à représenter celles-ci par des sous-ensembles flous. Nous collaborons sur ce sujet avec Ch.-A. Tijus, chercheur dans le laboratoire de psychologie cognitive de l'université Paris VIII. Une première recherche a eu pour objectif l'aide en ligne à l'utilisateur novice d'un système technique et nous avons réalisé le système SIFADE en prenant l'exemple de l'utilisation d'un système de traitement de texte par un novice (Omri). Ce travail a été prolongé, d'une part par l'exploitation sémantique d'évaluations sensorielles dans un stage post-doctoral de N. Omri chez Nestlé, d'autre part par la construction d'un autre système d'interface entre l'homme et la machine dans le cadre d'un contrat DRET dont le but est la conception d'interfaces de dialogue entre un agent humain et un dispositif technique, qui apprend à reconnaître les catégories manipulées par l'agent et à répondre à ses commandes. Un autre aspect de l'aide à un agent humain réside dans l'identification et l'extraction d'informations pertinentes dans une base, et ceci fait l'objet de la thèse de C. Brouard, dans le cadre de nos recherches sur la fouille de données.

D-DAL (Dictaphone-Dactylographe du laboratoire)

M.-J. CARATY, C. MONTACIÉ, C. BARRAS, F. LEFÈVRE

D-DAL est l'un des cinq systèmes qui participe à la campagne de test de dictée vocale francophone subventionnée par l'AUPELF-UREF dans le cadre des recherches en

linguistique écrite et orale. Le test auquel nous avons participé est la dictée vocale "illimitée", indépendante du locuteur. La tâche de reconnaissance porte sur 655 phrases (structurées en paragraphes) du journal Le Monde (novembre 1996), ce qui correspond à plus de deux heures de parole.

D-DAL est un système de dictée vocale fondé sur les modèles de Markov cachés. Des multi-gaussiennes multi-dimensionnelles constituent les modèles acoustiques contextuels, les n-grammes et n-classes statistiques constituent le modèle de langage. Tous les traitements et les ressources, autres que les corpus textuel et acoustique, ont entièrement été développés au laboratoire. Notre contribution principale a porté sur trois points : l'apprentissage de modèles markoviens contextuels, l'adaptation rapide au locuteur et la reconnaissance de la parole sans contrainte de vocabulaire.

Les densités de probabilité d'émission des observations sont usuellement modélisées par une combinaison de gaussiennes multi-dimensionnelles dans les modèles markoviens continus. Un critère fondé sur le test du χ^2 permet de choisir objectivement le nombre de gaussiennes par état des machines de Markov phonétiques. Ce critère présente ainsi l'avantage d'éviter le sur-apprentissage, de minimiser le nombre de paramètres d'apprentissage et donc de diminuer le coût de calcul à l'apprentissage et au décodage. Une série d'expériences sur la base de données TIMIT a montré qu'il était possible en n'utilisant qu'un tiers de la base d'apprentissage d'obtenir les mêmes résultats de décodage.

La très forte variabilité inter-locuteurs diminue la discrimination acoustique des modèles indépendants du locuteur. Les modèles AR-vectoriels sont utilisés pour définir une classification des locuteurs ainsi que leur pondération et adapter, dans une approche multi-modèles, l'ensemble d'apprentissage aux locuteurs de test. Plusieurs choix sont alors possibles pour utiliser cette topologie : ré-estimation des modèles sur les locuteurs les plus proches ou somme pondérée de modèles appris sur des regroupements de locuteurs. La première approche est la plus performante, la seconde la plus rapide.

La reconnaissance de la parole sans contrainte de vocabulaire est un problème difficile. D'importantes ressources (e.g., acoustique, lexicale, linguistique) doivent être simultanément présentes en mémoire. La solution que nous avons développée est l'utilisation d'un lexique dynamique. Pour chaque phrase de test, une courte liste de mots-candidats est déterminée avant de procéder à des calculs détaillés et coûteux de comparaisons entre les modèles acoustiques, lexicaux et linguistiques. Pour utiliser efficacement un tel sous-lexique "dynamique", nous proposons un algorithme original de filtrage de lexique très grand vocabulaire à partir du décodage d'une phrase-test en treillis phonétique. Le coût de calcul reste inchangé et ces méthodes permettent de diminuer significativement la taille du lexique originel sans diminution du taux de couverture.

C'est à partir de l'ensemble de ces travaux, sous l'environnement HTK (Hidden Markov model ToolKit), que nous avons développé D-DAL. Quatre types de modèles acoustiques ont été appris sur les 13 CD de BREF-TOTAL (corpus acoustique de 100 heures de parole du LIMSI) : monophones, biphones gauches, biphones droits et triphones, soit au total plus de 12000 modèles de Bakis à 3 états représentés par environ 33500 gaussiennes. Les corpus textuels des dix dernières années du journal Le Monde constituent la deuxième ressource externe utilisée. Le lexique est constitué des 813 k-mots du Monde appartenant au DP-L (493 k-mots), Dictionnaire Phonétisé du LIP6, soit 160k-mots lexicalement différents. Les modèles de langage statistiques sont utilisés : bigrammes, trigrammes, biclasses et triclassés, 74 classes grammaticales sont utilisées pour les n-classes utilisées. Le moteur de reconnaissance de D-DAL est un système à quatre passes. La première passe détermine le sexe du locuteur par modélisation AR-vectorielle au niveau du paragraphe. La deuxième passe sélectionne dans un lexique dynamique de 40 k-formes (lexicalement, acoustiquement et grammaticalement différentes) par décodage acoustico-phonétique et

analyse du treillis phonétique. Une troisième passe synchrone engendre un graphe de mots de profondeur 60 utilisant le modèle de langage des bigrammes-biclasses avec traitement des liaisons et des pauses. Une quatrième phase asynchrone utilise le graphe de mots et le modèle de langage des trigrammes-triclasses pour donner l'hypothèse textuelle de D-DAL.

Dans les conditions de test déjà citées, les résultats sont de 69% de reconnaissance avec 10% d'insertion. Compte tenu de la difficulté de cette tâche (vocabulaire "illimité", spécificité des textes du Monde comprenant de nombreux noms propres, mots étrangers, mots témoins de l'évolution de la langue,...), les résultats sont très satisfaisants.

Orphée (Serrure Vocale du LIP6)

C. MONTACIÉ, M.-J. CARATY, J.-L. LE FLOCH

Nous avons développé un système original et performant de reconnaissance du locuteur indépendamment du texte fondé sur l'utilisation d'un modèle de l'évolution spectrale, les Modèles Auto-régressifs Vectoriels (MAV), et d'une mesure de distorsion inter-locuteurs que nous avons appelée Distance d'Itakura Vectorielle (DIV). Les MAV permettent de décrire les trajectoires suivies par les paramètres d'analyse d'un segment de parole (i.e., phrase ou série de phrases). Des expériences préliminaires ont été menées sur la base de données DARPA-TIMIT et montrent qu'il est possible de reconnaître sans erreur un locuteur parmi 630 avec quelques secondes de parole et 5% d'erreurs avec une seconde de parole choisie. Orphée, la serrure vocale a d'abord été testée à l'entrée de notre laboratoire. Elle a fonctionné pendant près de deux ans, 24h/24h, 7j/7j, avec près de 160 utilisateurs. Cette technologie a été brevetée (N° 9605566) le 3 mai 1996, puis licenciée à la société CDV-International, pour le contrôle d'accès. Les autres applications de ce brevet sont l'indexation, en terme de locuteurs, de bases de données multi-médias, la surveillance de canaux de communication et la signature vocale à des fins contractuelles. Le rapport du brevet ne mentionne que des documents de catégorie A non opposables à cette invention.

Le projet TRANSDOC

C. MONTACIÉ, M.-J. CARATY

Nous participons au projet inter-laboratoires TRANSDOC dont le but est l'indexation de documents (textes, images sons, vidéos). Notre travail est plus particulièrement l'indexation du canal son de données multimédia en développant des méthodes rapides d'alignement du signal sonore sur un script ainsi qu'en segmentant ce signal en terme de locuteurs. Dans le premier cas, D-DAL permet un recalage des mots et des phrases constituant le monologue sur le support audio : d'où un ensemble de repères d'indexation de type lexical qui peuvent servir de points d'ancrage à toute recherche et surtout interagir avec tout autre traitement (image ou son). Dans le second cas, la partie audio est découpée par nos algorithmes détection silence/bruit/musique/parole en segments assez longs (quelques secondes) qui sont le plus homogènes possibles en terme de locuteur. La matrice de distances inter-segments nous permettra de déduire le nombre de locuteurs différents et d'en construire des modèles. Cette approche est itérative, car les segments peuvent être remis en cause et eux-mêmes découpés en plusieurs sous-segments. Un premier test sur une séquence de vingt minutes fourni par l'INA montre que ces techniques sont extrêmement performantes. La maquette prévue dans le projet TRANSDOC est l'indexation complète du film "Contes de Printemps" de Rohmer.

Apprentissage symbolique

J.-G. GANASCIA, I. MOULINIER, M. SEFRIQUI, J. THOMAS, J.-D. ZUCKER

La préoccupation majeure de tous ceux travaillant sur cet axe thématique concerne la nature et le rôle des exemples en apprentissage. En effet, soit en tant qu'*exemples d'apprentissage* pour l'*induction*, soit en tant que *cas* pour le *raisonnement à partir de cas*, les exemples constituent un matériau essentiel. Cependant, il apparaît que les exemples en eux-mêmes ne suffisent généralement pas ; il convient d'ajouter des connaissances au cours du processus d'induction lui-même et de coupler induction et déduction. C'est l'introduction de connaissances dans les algorithmes d'apprentissage par induction qui motive les travaux de cette thématique.

Trois projets relèvent de cet axe de recherche. Le premier vise à modifier la représentation des exemples afin de préciser ce sur quoi portent les analogies ou les généralisations. Cette recherche menée par J.-D. Zucker a conduit à définir une notion nouvelle ignorée la plupart du temps, mettant en évidence l'importance de la partie de l'exemple sur laquelle portent l'apprentissage et la généralisation. Cette approche a donné lieu au développement du système REMO qui modifie la représentation des exemples. Ce système utilise l'algorithme inductif ENIGME+ qui permet de résoudre le problème de l'apprentissage sur les exemples reformulés. Les résultats expérimentaux obtenus sont particulièrement probants. Ils montrent que cette approche permet en pratique d'opérer des inductions sur plusieurs milliers d'exemples d'apprentissage structurés.

Un second projet porte sur un autre aspect du prétraitement en amont des algorithmes d'apprentissage ; il s'agit toujours de restreindre la taille de l'espace de recherche de l'algorithme inductif, mais l'approche adoptée ici repose sur le couplage de techniques d'apprentissage et de méthodes de résolution de problèmes. L'apprentissage est guidé par des connaissances décrivant la tâche qu'un expert du domaine doit résoudre. Cette description permet de caractériser le but des règles à produire. Cette approche a été mise en œuvre par J. Thomas dans le cadre du système ENIGME.

Le travail d'I. Moulinier porte sur la catégorisation de textes, à savoir, sur l'application de techniques d'apprentissage supervisé à l'indexation de données textuelles. La catégorisation se décompose en une étape de transformation qui fait passer de textes bruts à des ensembles de mots, en une étape de projection qui réduit la taille de l'espace de représentation et en une étape inductive. Du point de vue de l'apprentissage, les données textuelles sont atypiques : un grand nombre d'exemples sont disponibles, mais le nombre des attributs décrivant ces exemples est encore plus important. Afin d'employer les techniques standards de l'apprentissage symbolique, les dimensions de l'espace de représentation doivent être drastiquement réduites. Différentes méthodes pour réaliser ce filtrage ont été proposées et combinées avec le système d'apprentissage ENIGME basé sur l'algorithme CHARADE et avec d'autres algorithmes classiques d'apprentissage.

Ingénierie des connaissances

I. AKOULCHINA, I. BOURNAUD, C. FARON, Q. KIEU

La plupart des sciences d'observation ont mis des siècles pour élaborer une structuration de leur domaine. Cependant les classifications qui en résultent ne sont pas exemptes d'incohérences, liées soit à la terminologie et à la description des objets, soit à la structure même de la classification.

L'objectif ici est de fournir un ensemble d'outils d'aide à la construction et à l'amélioration de classifications en faisant appel à des méthodes d'explicitation des connaissances et à des techniques hypermédia. Des procédures de validation permettent de détecter des erreurs de formulation ; des procédés d'apprentissage servent à corriger les défauts de la structure taxinomique. Tout un ensemble des techniques a été développé pour atteindre ces objectifs.

Les travaux d'I. Bournaud s'inscrivent dans le domaine du regroupement conceptuel. Elle propose une approche originale de construction de hiérarchies conceptuelles d'objets complexes représentés à l'aide du formalisme des graphes conceptuels. Une ou des hiérarchies conceptuelles sont extraites interactivement d'un espace décrivant explicitement un ensemble de classifications conceptuelles, l'espace des généralisations. Cette approche est mise en œuvre dans le système COING. Une des applications de ces travaux est liée à l'organisation de règles de bases de connaissances.

C. Faron s'est intéressée aux problèmes de représentation de connaissances taxinomiques et en particulier à la gestion d'exceptions dans le modèle des graphes conceptuels pour la représentation de taxinomies imparfaites. Q. Kieu et C. Faron s'attachent à la mémorisation des informations acquises en ayant recours à des techniques hypermédia et à une indexation d'informations textuelles et graphiques. Le système SATELIT, construit pour l'acquisition de taxinomies, intègre les techniques de représentation et d'acquisition de connaissances précédemment citées. I. Akoulchina a élaboré l'interface du système SATELIT sur deux environnements : HyperCard et Internet. Actuellement, ses recherches s'inscrivent dans domaine des agents intelligents d'interface, doués de la faculté d'apprentissage. Grâce à un tel agent SAGE (SATELIT AGENT), développé par I. Akoulchina, l'interface de SATELIT devient adaptative, ce qui permet à l'utilisateur de s'orienter dans l'espace de navigation sur Internet. SAGE analyse les actions de navigation des utilisateurs, essaie d'inférer leurs intentions et le but final de leurs recherches. Pour suggérer à l'utilisateur de visiter certaines pages Web ou d'explorer certains outils spécifiques de SATELIT, l'agent SAGE utilise des connaissances de SATELIT acquises préalablement sur le domaine d'application.

Découverte et créativité

A. BANTO, V. CORRUBLE, C. MEYER, G. RAMALHO, P.-Y. ROLLAND

Si l'on s'intéresse à la construction des machines intelligentes, il est indispensable de pouvoir s'attaquer à la modélisation de tâches créatives. Malgré le manque de critères faisant l'unanimité pour caractériser la créativité, certains traits généraux des tâches dites créatives peuvent être dégagés. A ce titre, on a pu noter, l'absence de buts bien définis, l'aspect intrinsèquement dynamique, le fait que les problèmes sont généralement sous-contraints, et qu'il n'y a pas de justification a priori des choix de concepts utilisés.

Nous avons étudié la découverte scientifique dans le domaine médical avec V. Corruble, dans le but de comprendre, à l'aide de modèles informatiques construits sur les outils d'apprentissage symbolique développés dans notre équipe, le statut de l'induction dans la connaissance médicale avant le XIXème siècle. C'est cette recherche qui nous a permis de publier un article dans la revue Artificial Intelligence.

Nous avons aussi amorcé avec A. Banto, actuellement en thèse d'université, une exploitation des techniques d'apprentissage symbolique développées dans notre équipe pour faire de l'aide à la découverte dans le domaine médical. Ses travaux portent sur l'effet des antidépresseurs avec l'objectif d'induire des hypothèses nouvelles sur la réponse au traitement, dans le contexte où les données médicales contiennent un nombre trop important d'attributs décrivant les exemples disponibles. Le développement des algorithmes

de présélection des attributs significatifs permettra la réduction des dimensions de l'espace de représentation afin d'utiliser plus efficacement nos algorithmes d'apprentissage. Les méthodes de filtrage optimales seront intégrées dans le système ENIGME.

C. Meyer travaille sur l'anticipation de comportements évolutifs. Il développe la solution SAGACE (Solution Algorithmique Génétique pour l'Anticipation de Comportements Evolutifs). Cette solution est basée sur l'utilisation de systèmes de classeurs et d'algorithmes génétiques. Elle est actuellement implémentée et évaluée sur des problèmes de jeux à information complète et imparfaite. Elle sera par la suite, appliquée à des problèmes de modélisation de l'utilisateur pour des interfaces homme-machine et à des problèmes de prédictions et d'anticipations économiques.

Enfin, dans la mesure où certaines activités artistiques, comme l'accompagnement musical, requièrent un certain métier, elles sont susceptibles d'être modélisées à l'aide de techniques d'ingénierie des connaissances, puis simulées sur ordinateur. Cette assertion, pour audacieuse qu'elle paraisse, ne fait que pousser jusqu'à leurs ultimes conséquences, les ambitions des spécialistes d'ingénierie des connaissances qui prétendent aborder tout savoir professionnel pour le modéliser, puis le simuler sur ordinateur. Nous avons développé un modèle de créativité fondé sur la notion de mémoire et largement inspiré des travaux de R. Schank. Ce modèle est appliqué ensuite à la simulation de l'improvisation du bassiste au sein d'une section rythmique de jazz, avec un étudiant, G. Ramalho, qui a passé sa thèse sur ce sujet en janvier 1997.

Utilisation de méta-connaissances pour utiliser efficacement des (méta)connaissances déclaratives

B. BOUZY, M. MASSON, J.-M. NIGRO, J. PITRAT, P. RICAUD

Il est difficile de modifier ou de comprendre des grands ensembles de connaissances qui ont des aspects procéduraux. Une direction de recherche est de donner à un système la possibilité d'utiliser des connaissances très déclaratives. C'est le cas du système DIACODEX (Masson, 1996) qui a été appliqué au domaine médical, mais rien dans le système n'est lié à un domaine particulier. Il ne contient pas de règles comme celles de MYCIN, qui sont trop souvent la procéduralisation partielle de plusieurs connaissances. On lui donne essentiellement des faits, par exemple que les patients atteints par une certaine maladie ont souvent tel symptôme, que ce symptôme est rarement présent en l'absence de cette maladie, que tel examen de laboratoire est coûteux, que sa fiabilité est très bonne...

De même, le système MACISTE (Pitrat, 1996) reçoit sous forme déclarative toutes les connaissances et métaconnaissances nécessaires pour résoudre des problèmes de type ALICE. L'amorçage de l'utilisation de (méta)connaissances déclaratives a été poursuivi en augmentant la déclarativité des métaconnaissances. En particulier, le formalisme de définition des métaconnaissances du système ALICE a été encore amélioré de façon à le rendre totalement déclaratif. Aussi les performances ont-elles progressé, car il a été possible de donner davantage de métaconnaissances puisqu'il était devenu bien plus facile de le faire. Il reste qu'un problème sérieux est celui de la métacombinatoire. En effet, le système trouve les solutions des problèmes en engendrant des arborescences de taille très réduite, mais il développe une métacombinatoire trop vaste sur les essais pour arriver à ces petites arborescences. On pourrait dire qu'il trouve de façon peu élégante des solutions très élégantes. Comme nous connaissons mal de bonnes stratégies de recherche, il serait souhaitable que ce soit le système qui les découvre. Cela est rendu possible parce qu'il est plus facile d'apprendre des métaconnaissances déclaratives et parce que le système sait maintenant traiter efficacement de telles métaconnaissances.

Il est important d'avoir des connaissances déclaratives pour pouvoir les examiner afin d'expliquer les raisons d'une décision. Le système GénéCom (Nigro, 1996) commente une partie de tarot. Ce jeu de cartes est à information incomplète, les méthodes combinatoires sont donc inutilisables. Pour faire des commentaires sensés, il faut d'abord être capable de jouer correctement aussi bien dans le rôle de l'attaquant que dans celui des défenseurs, ce que fait le système Bateleur. Pour sa part, GénéCom a des métaconnaissances sous forme de règles pour analyser les connaissances de Bateleur ; il cherche celles d'entre elles qui pourraient expliquer le coup du joueur. Pour engendrer automatiquement les commentaires, il ne suffit pas de donner des explications pour chaque coup joué ; il faut choisir les coups que l'on va expliquer, et aussi les coups non joués pour lesquels on donnera une explication du type "Pourquoi pas ?". Le système fait des commentaires stratégiques, sur le plan de jeu choisi par le joueur, et des commentaires tactiques, c'est-à-dire en quoi les cartes jouées sont en accord avec ce plan de jeu.

Il y a en IA un regain d'intérêt pour le jeu de Go : à la différence de ce qui se passe pour les échecs, l'approche combinatoire est inutilisable, car il peut y avoir plus de 300 coups légaux. Un bon système de Go devra disposer de beaucoup de connaissances pour bien sélectionner les coups. Le système Gobelin (Ricaud, 1996, 1997) étudie l'utilisation de connaissances déclaratives dans le jeu de Go. Ces connaissances sont des concepts stratégiques : le système se place à un niveau d'abstraction supérieur à celui où l'on considère les cases du goban. Il a été appliqué essentiellement au début de partie. Comme les connaissances sont déclaratives, le système peut les examiner pour expliquer les coups joués d'un point de vue stratégique. Il commence par transformer le goban réel en un goban abstrait qui est plus simple. Il analyse ensuite ce goban abstrait et en déduit un coup abstrait. Il repasse au niveau réel et considère seulement les coups réels correspondant à ce coup abstrait et choisit alors le coup qu'il jouera réellement. Cette approche permet de gagner du temps en raisonnant principalement sur le goban abstrait qui est bien plus simple que le goban réel. Elle est également intéressante au point de vue explication, puisqu'elle permet de donner les raisons principales pour le choix d'un coup, qui sont alors bien plus compréhensibles pour un interlocuteur humain que le résultat d'une recherche arborescente. Ce système, testé sur des problèmes trouvés dans des revues de Go, a eu des résultats satisfaisants.

Le système Indigo (Bouzy, 1996) joue une partie complète de Go. Comme son auteur est un excellent joueur de Go, il s'est spécialement intéressé à l'aspect cognitif : il s'est inspiré de la façon dont les humains jouent. Il a défini un nombre considérable de concepts utiles pour bien jouer au Go. Un problème délicat est de voir comment il est possible d'utiliser ces connaissances uniquement en cas de nécessité et de s'en servir de façon incrémentale : on évalue autant que possible une situation à partir de la position précédente sans devoir tout recalculer. Vu la taille du goban, une utilisation systématique des connaissances conduirait à des temps inacceptables. Le système se sert de techniques variées, en particulier la morphologie mathématique, l'IAD, la logique floue. La théorie des jeux de Conway est particulièrement intéressante parce qu'un goban contient plusieurs jeux plus simples que l'on évalue indépendamment au départ selon cette théorie ; il est ensuite nécessaire d'en faire la synthèse en tenant compte de leur importance et de leur priorité pour déterminer le coup finalement choisi. Indigo a joué de nombreuses parties contre d'autres programmes de Go.

Découverte de (méta)connaissances à l'aide de métaconnaissances

T. CAZENAVE, A. FREDON, R. MONERET, G. PECEGO, J. PITRAT, C. TURLE

Une grande quantité de (méta)connaissances est nécessaire dans la plupart des cas et trop souvent nous ne les connaissons même pas. Aussi vaut-il mieux qu'un système les découvre

plutôt qu'un humain essaye de les rassembler en observant plus ou moins bien des (méta)experts plus ou moins bons. Pour cela, le système a besoin de connaissances pour découvrir de nouvelles (méta)connaissances, une autre variété de métaconnaissances. Il faut choisir un domaine pour expérimenter ces idées et celui des jeux est particulièrement intéressant car il en existe un grand nombre qui sont de difficultés variées. De plus il est facile d'exposer des travaux faits dans de tels domaines. C'est pourquoi nous avons souvent pris les jeux comme domaine d'application, notre but n'est pas la réalisation de programmes de jeux performants, mais l'étude de problèmes fondamentaux de l'IA.

Un système d'apprentissage est opérationnel : Gogol (Cazenave, 1996, 1997). Il est basé sur l'apprentissage par explication (EBL) et il arrive à n'apprendre que des connaissances qui sont certaines. Il a été surtout expérimenté avec le Go ; le système reçoit alors formellement les règles du jeu et il doit comprendre les raisons des succès ou des échecs en utilisant ces règles. A partir de parties qui lui sont proposées, il découvre de nouvelles méthodes pour apprécier une situation ; il trouve aussi le moyen de déterminer les changements apportés à l'évaluation d'une position après avoir joué un coup sans être obligé de tout ré-évaluer. Après un an d'existence, le programme élaboré à l'aide de ce système a eu d'excellents résultats lors de la compétition des programmes de Go qui a eu lieu au Japon. Mais il a aussi été appliqué avec succès à des problèmes de gestion. Par ailleurs, un chercheur vient de commencer une thèse qui porte sur la réalisation de programmes généraux de jeux.

Il est intéressant de créer de nouvelles connaissances dans un autre but que d'améliorer les performances d'un système. L'objectif du système SYGEP (Pecego, 1996, 1997) est de créer des énoncés de problèmes. Il est général, les caractéristiques d'un domaine étant introduites indépendamment des métaconnaissances de création. C'est ainsi qu'il a été appliqué à la géométrie, l'électricité, la chimie, l'informatique, la thermodynamique, la mécanique, les probabilités et l'hydraulique. Il essaye aussi d'aider l'élève à apprendre à résoudre des problèmes, par exemple en les classant. Pour cela, il propose des couples de problèmes. Dans un cas les deux énoncés apparaissent à première vue très proches et ont des solutions très différentes ; dans un autre, les deux énoncés semblent très différents et ont des solutions proches. On espère ainsi que l'élève passera d'une classification du type "c'est un problème de poule" à une classification du type "c'est un problème sur la conservation de l'énergie".

Un problème important est celui de la création de nouveaux concepts. Le système Asgard (Turle, 1996) part des travaux de D. Lenat. Il arrive à trouver des concepts de la théorie des ensembles ou de l'arithmétique en étant guidé par des métaconnaissances très générales. Il est ainsi dirigé de façon beaucoup plus lâche que dans les systèmes de Lenat.

MACISTE (Pitrat, 1996) est actuellement capable de résoudre des problèmes à l'aide de métaconnaissances totalement déclaratives ; il s'agit maintenant qu'il puisse les découvrir. Des travaux préparatoires ont été faits, en particulier, le système peut mieux observer ce qu'il fait et pourquoi il le fait. On a également développé la possibilité pour le système de faire des expériences. En effet, quand un système apprend sans professeur, il doit déterminer lui-même les éléments qui lui permettront de comprendre les raisons des succès et des échecs. Une façon d'y arriver est de comparer ce qui s'est produit avec ce qui se passerait si l'on faisait un autre choix. Il reste à utiliser ces outils pour apprendre de meilleures stratégies de résolution de problèmes.

Livres (8)

- Benasayag M., **Akdag H.**, Secroun C., *Peut-on penser le monde? Hasard et Incertitude*, Editions du Félin, 1997.
- Bouchon B.**, L. Foulloy, M. Ramdani, *Logique floue : exercices corrigés et exemples d'applications*, Cépadues-Éditions, Toulouse, 1998.
- Bouchon B.**, Nguyen.H.T., *Les incertitudes dans les systèmes intelligents*, n° 3110, Presses Universitaires de France, Paris, 1996.
- Bournaud I.**, **Mathieu J.**, *Le regroupement conceptuel pour l'aide à l'élicitation des connaissances utilisées dans la construction de classifications*, Catégorisation, PUF, Paris, (accepté).
- Gacogne L.**, *Éléments de logique floue*, Hermes, 1997.
- Gacogne L.**, *512 problèmes corrigés, Pascal, C++, Lisp, Prolog*, Ellipses, 1996.
- Ganascia J.-G.**, *Les sciences cognitives*, Flammarion, Collection Dominos, 1996.
- Serres M., Farouki F. (Directeurs), *Trésor des sciences*, Flammarion, 1997. Cet ouvrage collectif est un dictionnaire des sciences destiné à un large public. La part que **J.-G. Ganascia** a prise est assez importante, puisqu'il a " couvert " toutes les sciences de l'information, ce qui fait 550 000 signes typographiques. C'est la raison pour laquelle l'ouvrage n'est pas rangé dans la catégorie " ouvrages de synthèse ".

Publications parues dans des revues, notoriété importante (27)

- Bothorel S., **Bouchon B.**, Muller S., A Fuzzy Logic-based Approach for Semiological Analysis of Microcalcification in Mammographic Images, *International Journal of Intelligent Systems* (1997).
- Bouchon B.**, Kosheleva O., Kreinovich V. , Nguyen H.T., Fuzzy Numbers are the Only Fuzzy Sets that Keep Invertible Operations Invertible, *Fuzzy Sets and Systems* 91/12, (1997).
- Bouchon B.**, Kreinovich V., Lokshin A., Nguyen H.T., On the Formulation of Optimization Under Elastic Constraints (With Control in Mind) *Fuzzy Sets and Systems*, 81, 1 (1996) pp. 5-29.
- Bouchon B.**, **Rifqi M.**, **Bothorel S.**, Towards General Measures of Comparison of Objects, *Fuzzy Sets and Systems*, 84, 2 (1996) pp. 143-153.
- Boullard J.-C., Capelle B., Gualandris S., **Lifchitz A.**, Cibert J., Tatarenko S., X-ray Standing Wave Study of CdTe/MnTe/CdTe(001) Heterointerfaces, *Journal of Applied Physics*, vol. 81, N° 3 (1997) pp. 1173-1179.
- Cazenave T.**, Controlled Partial Evaluation of Declarative Logic Programs, *ACM Computing Surveys* (1998).
- Cazenave T.**, Machine Introspection for Machine Learning, *Journal of Consciousness Studies* (1998).
- Chopard-Guillaumot G.**, Hadj-Mabrouk H., **Ganascia J.-G.**, Contribution à une meilleure définition de l'analyse préliminaire de risques pour les systèmes de transports guidés, *Journal Européen des Systèmes Automatisés*, (1997).
- Cibas T.**, Fogelman F., **Gallinari P.**, Raudys S., Variable sélection with neural networks, *Neurocomputing* 12 (1996), pp 223-148.
- Corruble V., **Ganascia J.-G.**, Experimentations on the dynamics of induction in medicine. *Artificial Intelligence Journal, Special issue on scientific discovery*, vol. 91 n° 2, (1997) pp. 205-223.

- Gallinari P.**, Gascuel O., Statistique, apprentissage et généralisation, Application aux réseaux de neurones, *Revue d'intelligence artificielle*, vol. 2-3, n° 10, 2-3 (1996) pp. 285-344.
- Gérard O.**, Patillon J.-N., **d'Alché-Buc F.**, Discharge Prediction of Rechargeable Batteries with Neural Networks, *International Journal of Integrated Computer-aided Engineering, Special Issue on Neural Network technique for Industrial Applications* (1997).
- Grolimund S.**, **Ganascia J.-G.**, Driving Tabu search with case-based reasoning. *European journal of operational research* (accepté).
- Kreinovich V., **Bouchon B.**, Granularity via Nondeterministic Computations : What we Gain and What we Lose, *International Journal of Intelligent Systems* 12 (1997) pp. 469-481.
- Labat J.-M.**, **Pomerol J.-C.**, **Nigro J.-M.***, Caron J., Fievré M.-D., Caron-Pargue J., Computer and Human Problem Solving Strategies : The case of the Tower of Hanoi, *Antwerp Papers in Linguistics*, 85 (1996) pp. 75-90.
- Leray P.**, **Gallinari P.**, Feature Selection with Neural Networks, *Behaviormetrika, Special Issue on Analysis of Knowledge Representations in Neural Network Models* (1998) (accepté).
- Nguyen H.T., Kreinovich V., **Bouchon B.**, Soft computing explains heuristic numerical methods in data processing and in logic programming, *Heuristics* (accepté)
- Pitrat J.**, Implementation of a Reflective System, *Future Generation Computer Systems*, 12 (1996) pp. 235-242.
- Ramalho G.**, **Rolland P.-Y.**, **Ganascia J.-G.**, An Artificially Intelligent Jazz Performer, *Journal of New Music Research* (accepté).
- Rolland P.-Y.**, **Ganascia J.-G.**, Musical Pattern Extraction and Similarity Assessment, *Contemporary Music Review, Special Issue on Music and Artificial Intelligence* (accepté).
- Rolland P.-Y.**, **Ganascia J.-G.**, The representation and use patterns in AI systems for music, *Contemporary music review* (1996).
- Rolland P.-Y.**, **Pachet F.***, A Framework for Representing Knowledge about Synthesizer Programming, *Computer Music Journal* 20:3 Cambridge, MA : MIT Press (1996) pp. 47-58.
- Toudeft A.**, **Gallinari P.**, Neural and adaptive controllers for a non-minimum phase varying time-delay system, *Artificial Intelligence in Engineering, special issue on Neural Networks in Process Engineering* (1997).
- Ying M., **Bouchon B.**, Quantifiers, Modifiers and Qualifiers in Fuzzy Logic, *Journal of Applied Non-classical Logics* 7, 3, (1997) pp. 335-342.
- Zaragoza H.**, **Gallinari P.**, Multiple Multivariate Nonlinear Regression: A Large Scale Thermodynamical Application, *Signal Processing*, vol. 64, N° 3 (1997) pp. 371-382.
- Zheng Y., Boullard J.-C., Capelle B., **Lifchitz A.**, Lagomarsino S., Strain state in single quantum well GaAs/1ML-InAs/GaAs(100) analysed by high-resolution X-ray diffraction, *Europhysics Letters*, vol. 41, N° 4 (1998) pp. 623-627.
- Zucker J.-D.**, **Ganascia J.-G.**, **Bournaud I.**, Relational Discovery in a Chinese Characters Data-Base, *Applied Artificial Intelligence Journal*, (accepté).

Publications parues dans des revues, notoriété courante (18)

- Akoulchina I.**, **Faron C.**, **Ganascia J.-G.**, SAGE as a new type of “active browser” agent on the Web, *User Modeling and User-Adapted Interaction Journal* (accepté)
- Aladenise N.**, **Bouchon B.**, Acquisition de connaissances imparfaites : mise en évidence d'une fonction d'appartenance, *Revue Internationale de Systémique* 11, 1 (1997).

- d'Alche-Buc F.**, Nadal J.-P., Méthodes constructives pour l'apprentissage à partir d'exemples : les arbres neuronaux hybrides et leur comportement asymptotique, *La revue de Modulad*, N° 16 (1996) pp. 1-19.
- Baron M.**, **Bouchon B.***, Comment traiter des connaissances imparfaites ?, *Cahiers de nutrition et de diététique*, 31, 4 (1996) pp. 232-236.
- Bouchon B.**, **Marsala Ch.**, **Ramdani M.**, Inductive Learning and Fuzziness, *Scientia Iranica, International Journal of Science and Technology* 2. 4 (1996) pp. 289-298.
- Bouchon B.**, **Rifqi M.**, A Framework to Unify and Generate Measures of Comparison, *Tatra Mountains Mathematical Publications* (1997) pp. 89-98.
- Bouzy B.**, Mary C., Etat actuel de la programmation du jeu de go, Flux, *revue des anciens élèves de SupElec* (accepté).
- Cazenave T.**, IJCAI'97 : La Troisième Coupe FOST, *Bulletin de l'AFIA*, N°32, Janvier (1998) pp. 49.
- Cazenave T.**, Jeu de Go. Un programme d'ordinateur construit des programmes qui jouent au Go, *Pour la Science*, N°245, mars (1998) pp. 29-30.
- Chopard-Guillaumot G.**, Hadj-Mabrouk H., Définition des principaux concepts relatifs à la notion de sécurité dans les transports guidés, *Revue générale des chemins de fer*, Paris, (1996) pp. 23-36.
- Chopard-Guillaumot G.**, Hadj-Mabrouk H., **Ganascia J.-G.**, Contribution à une meilleure définition de l'analyse préliminaire de risques pour les systèmes de transports guidés, *Journal Européen des Systèmes Automatisés (RAIRO-APII-JESA)*, vol. 30, N°1 (1997) pp.121-143.
- Darricau M.**, Hadj-Mabrouk H., **Ganascia J.-G.**, Une approche pour la réutilisation des spécifications de logiciels. Application au domaine de la sécurité des systèmes de transport guidé, *Revue Génie Logiciel*, N°45 (1997) pp. 2-8.
- Ganascia J.-G.**, Demain, des appareils bien élevés, *La Recherche*, N° 285, mars (1996) pp. 110.
- Hartani R.**, Nguyen H., **Bouchon B.**, Sur l'approximation universelle des systèmes flous, *RAIRO-APII-JESA*, 30, 5 (1996) pp. 645-664.
- Pitrat J.**, Un problème difficile : résoudre des problèmes, *Sciences*, n° 97-2 (1997) pp.14-19.
- Victorri B., **Visetti Y.-M.**, Modéliser les interactions entre une expression polysémique et son co-texte, *Sémiotiques* (1997).
- Visetti Y.-M.**, Fonctionnalismes 1996, *Intellectica*, 21 (1996).
- Zucker J.-D.**, Compte Rendu de la conférence IJCAI 1997, *Bulletin de l'AFIA*, (1998) pp. 46-48.

Publications dans des actes de congrès ou des ouvrages de synthèse, notoriété importante (102)

- Akdag H.**, Mokhtari M., Approximative Conjunctions Processing by Multi-valued Logic, *IEEE International Symposium on Multiple-Valued Logic (ISMVL'96)*, Santiago de Compostela (1996).
- Akdag H.**, Mokhtari M., The Approximative Multi-Valued Reasoning via The Conjunctions Processing, *Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-Based Systems (IPMU)* Grenade (1996).
- Akoulchina I.**, **Ganascia J.-G.**, SATELIT-Agent : an Adaptive Interface Based on Learning Interface Agents Technology, *Proc. of UM'97 "User Modeling" Conference*, Italy (1997) pp 21-32.
- Amini M.-R.**, **Gallinari P.**, **d'Alché-Buc F.**, **Bonnard F.**, **Fernandez E.**, Automated statistical recognition of Partial Discharges in insulation systems, *8th International Conference of Artificial Neural Networks (ICANN'98)*, Skude (1998) (accepté).

- Bennani Y., **Gallinari P.**, Connectionist approaches for automatic speaker recognition, *ESCA workshop on speaker recognition*, Martini, Suisse.
- Borgi A.**, Bazin J.-M., **Akdag H.**, Supervised Classification by Automatic Rules Generation, *Fourth World Congress on Expert Systems, Application of Advanced Information Technologies*, Mexico (1998).
- Borgi A.**, Bazin J.-M., **Akdag H.**, Two Methods of Linear Correlation Search for a Knowledge Based Supervised Classification, *11th International Conference on Industrial & Engineering Applications of Artificial Intelligence Systems*. IEA-98-AIE, Benicassim, Espagne (1998).
- Bothorel S.**, **Bouchon B.**, Muller S., Extraction d'attributs flous pour l'analyse d'images mammographiques, *Rencontres Francophones sur la Logique Floue et ses Applications*, Cépadués, Nancy (1996).
- Bothorel S.**, **Bouchon B.**, Muller S., Fuzzy Logic-based Approach for Mammographic Images, *Congrès International EUFIT*, Aachen (1996).
- Bouchon B.**, Extension Principle, in *Handbook of Fuzzy Computation*, Oxford University Press (accepté).
- Bouchon B.**, **Delechamp J.**, **Marsala C.**, **Rifqi M.**, Several Forms of Fuzzy Analogical Reasoning, *Proc. of the 6th IEEE Int. Conf. on Fuzzy Systems, FUZZ'IEEE'97*, pp. 45-50, vol. I, Barcelona (1997).
- Bouchon B.**, Dubois D., Prade H., Godo L., Knowledge Representation and Approximate Reasoning, in *Handbook of Fuzzy Sets and Systems*, Kluwer Academic (accepté).
- Bouchon B.**, Kosheleva O., Kreinovich V., Nguyen H.T., Fuzzy Numbers are the Only Fuzzy Sets that Keep Invertible Operations Invertible, *International Conference IPMU'96*, Granada, Espagne (1996).
- Bouchon B.**, Kreinovich V., Simulating Fuzzy Control as a New Method of Eliciting Membership Functions, *International Conference IPMU'96*, Granada, Espagne (1996).
- Bouchon B.**, **Marsala C.**, Fuzzy Decision Trees and Databases, in *Flexible Query-Answering Systems*, T. Andreasen, H. Christiansen, H. L. Larsen (eds.), Academic Publishers, chap. 14 (1997) pp. 277-288.
- Bouchon B.**, **Marsala Ch.**, **Ramdani M.**, Learning from Imperfect Data, in Dubois D., Prade H., Yager R.R. (Eds.) *Fuzzy set methods in information engineering : a guided tour of applications*, JohnWiley & Sons (1997) pp. 139-148.
- Bouchon B.**, **Marsala Ch.**, **Ramdani M.**, Learning from Uncertain and Imprecise Examples, *11th Int. Proc. on Computers and their Applications*, ISCA, San Francisco (1996).
- Bouchon B.**, **Rifqi M.**, OWA Operators and an Extension of the Contrast Model, in R.R. Yager, J. Kacprzyk (eds.) *The Ordered Weighted Averaging Operators: Theory, Methodology and Applications*, Kluwer Academic Publishers (1997).
- Bouchon B.**, Valverde L., A Resemblance Approach to Analogical Reasoning Functions, in T. Martin, A. Ralescu (Eds.), *Lecture Notes in Artificial Intelligence*, Springer Verlag, volume 1188 (1996) pp. 266-278.
- Bournaud I.**, **Ganascia J.-G.**, Accounting for domain knowledge in the construction of a Generalization Space, *International Conference on Conceptual Structures* (1997).
- Bouzy B.**, There are no Winning Moves except the Last, *IPMU*, Grenade (1996).
- Bouzy B.**, **Cazenave C.**, Using the Object Oriented Paradigm to Model Context in Computer Go, *Context'97*, Rio (1997).
- Breidenstein T., **Bournaud, I.**, Wolinski F., Knowledge Discovery in Rule-Bases, *Proceedings of EKAW-97*, Lectures Notes in AI n°1319, Springer-Verlag (1997) pp. 329-334.
- Brouard C.**, **Bouchon-Meunier B.**, & Tijus C.-A., Modelling Action in Verbal Command Context with Fuzzy Subsets and Semantic Networks, *Twentieth Annual Meeting of the Cognitive Science Society* (1998).

- Brouard C., Bouchon-Meunier B., & Tijus C.-A.**, Modelling the Interpretation of Verbal Commands with Fuzzy Logic and Semantic Networks, *Second European Conference on Cognitive Modelling*, Nottingham (1998) pp. 143-150.
- Caraty M.-J., Montacié C., Lefèvre F.**, Dynamic Lexicon for a Very Large Vocabulary Vocal Dictation, *Eurospeech*, Rhodes (1997) pp. 2691-2694.
- Caraty M.-J., Montacié C.**, Multiresolution Analysis for Speech Recognition, *International Conference on Spoken Language Processing*, Sydney (1998) (accepté).
- Cazenave T.**, Integration of Different Reasoning Modes in a Go Playing and Learning System, *AAAI Spring Symposium on Multimodal Reasoning*, Stanford (1998).
- Cazenave T.**, Machine Self-Consciousness More Efficient Than Human Self-Consciousness? *European Meeting on Cybernetics and Systems Research*, Vienne (1998).
- Cazenave T.**, Metaprogramming Forced Moves, *ECAI-98*, Brighton (1998) pp. 645-649.
- Cazenave T.**, Speedup Mechanisms for Large Learning Systems, *IPMU'98*, Paris (1998) (accepté).
- Cazenave T.**, Strategic Evaluation in Complex Domains, *FLAIRS 98*, Sanibel (1998).
- Cazenave T.**, Learning with Fuzzy Definitions of Goals, in *Logic Programming and Soft Computing*, Research Studies Press, John Wiley & Sons (accepté).
- Cazenave T.**, Automatically Improving Agents Behaviors in an Urban Simulation, *Proceedings of the Second International Conference of the Journal of Industrial Engineering and Applications*, San Diego (1997).
- Cazenave T.**, Learning to Manage a Firm, *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Applications*, Houston (1996).
- Chopard-Guillaumot G., Hadj-Mabrouk H., Ganascia J.-G.**, Towards a computer aided assesment of railway system preliminary hazard, *Comprail 96, conference internationale sur l'informatique dans les transports guidés* (1996).
- Corruble V., Ganascia J.-G.**, The Discovery of the Causes of Leprosy : a Computational Analysis, *Proceedings of the National Conference on Artificial Intelligence (AAAI-96)* (1996).
- Debay P., **Eude V.**, Hayat S., Edel M., Fuzzy control for the future automatic guidance near the bus station, *Fuzz-IEEE'96*, New-Orleans, Louisiana (1996)
- Debay P., **Eude V.**, Hayat S., Edel M., Reduction of the number of necessary sensors for the fuzzy control realisation for the automatic bus guidance, *Eufit'96*, Aachen, Germany (1996).
- Delechamps J., Bouchon B.**, Graduality by Means of Analogical Reasoning, *International Conference on Qualitative and Quantitative Practical Reasoning*, Bad Honnef (1997).
- Eude V., Bouchon-Meunier B.**, Collain E., Choix d'operateurs d'agregation pour l'evaluation de structures hierarchisees, *7th International Conference on Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-based Systems IPMU'98*, Paris (1998).
- Faron C., Ganascia J.-G.**, Acquisition and maintenance of taxonomies embedding exceptions when viewed in a definitional approach in conceptual graphs formalism. *Proceedings of KRUSE'97, International symposium on knowledge representation, use and storage*, Vancouver (1997)
- Faron C., Ganascia J.-G.**, Representation of Defaults and Exceptions in Conceptual Graphs formalism, *International Conference on Conceptual Structures* (1997).

- Gallinari P.**, Cibas T., Complexity control and generalization in multilayer perceptrons, *Bio-mimetic approaches in management science*, Kluwer (1997).
- Gallinari P.**, Predictive Models for Sequence Modelling, Application to Speech and Character Recognition, *Adaptive Processing of Sequences and Data Structures*, Lee Giles, C., Gori M. eds, Springer (1998).
- Ganascia J.-G.**, CHARADE & fils : évolutions, applications et extensions. Induction symbolique et numérique, CEPADUES, (à paraître)
- Ganascia J.-G.**, Logique et induction: un vieux débat. Induction symbolique et numérique, CEPADUES, (à paraître).
- Garcia-Salicetti S.**, Dorizzi B., **Gallinari P.**, Wimmer Z., Gentric S., From Characters to Words : Dynamical Segmentation and Predictive Neural Networks, *Proceedings ICASSP'96 International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing*, Atlanta, GA (1996).
- Gérard O.**, J.-N. Patillon, **d'Alché-Buc F.**, Neural Network Adaptive Modeling of Battery Discharge Behavior, *proceedings of ICANN 97*, Lausanne (1997).
- Grolimund S.**, **Ganascia J.G.**, Speeding-up nearest neighbour memories: the template tree case memory organisation, *Proc. of the 13th international conference of machine learning, ICML*. Morgan Kaufman Publisher (1996).
- Guermeur Y.**, **Gallinari P.**, Combining Statistical Models for Protein Secondary Structure Prediction in the *proceedings of ICANN 96*, Bochum, Germany (1996).
- Guermeur Y.**, Paugam-Moisy H., **Gallinari P.**, Multivariate Linear Regression on Classifier Outputs†: a Capacity Study, *8th International Conference of Artificial Neural Networks (ICANN'98)*, Skude (1998) (accepté).
- Le Floch J.-L.**, **Montacié C.**, **Caraty M.-J.**, GMM and ARVM Cooperation and Competition for Text-Independent Speaker Recognition on Phone Speech, *Actes IEEE-International Conference on Spoken Language Processing*, Philadelphie (1996) pp. 2411-2414.
- Ledoux C.**, An urban traffic control system integrating neural networks, *Eighth International Conference on Road Traffic and Monitoring Control*, London (1996).
- Ledoux C.**, Application of neural networks to long term prediction of queue length at an urban traffic junction, *International Conference on Engineering Applications of Neural Networks, EANN'96*, London (1996).
- Lefèvre F.**, **Montacié C.**, **Caraty M.-J.**, Influence of the Probability Estimator in a HMM-based System, *International Conference on Spoken Language Processing*, Sydney (1998) (accepté).
- Lefèvre F.**, **Montacié C.**, **Caraty M.-J.**, K-Nearest Neighbours Estimator in a HMM-Based System, NATO ASI, Jersey (1998).
- Leray P.**, **Gallinari P.**, Data Fusion for Diagnosis in a Telecommunication Network, *8th International Conference of Artificial Neural Networks (ICANN'98)*, Skude (1998) (accepté).
- Leray P.**, **Gallinari P.**, Didelet E., Local diagnosis for real-time network traffic management, *IWANNT'97*, Melbourne, Australie (1997).
- Leray P.**, **Gallinari P.**, Didelet E., Neural Networks for Alarm Generation in Telephone Management, *Eighth Workshop on Principles of Diagnostic (DX'97)*, Mont Saint-Michel (1997).
- Leray P.**, **Gallinari P.**, Didelet E., A Neural Network Modular Architecture For Network Traffic Management, *Multiconference on Computational Engineering in Systems Applications (CESA)*, Lille, France (1996).
- Leray P.**, **Gallinari P.**, Didelet E., Diagnosis Tools for Telecommunication Network Traffic Management, *International Conference on Artificial Neural Networks*, Bochum (1996).

- Marsala Ch.**, Application of Fuzzy Rule Induction to Data Mining, *Proc. of the Int. Conf. on Flexible Query Answering Systems, FQAS'98*, Roskilde, Denmark (1998) (accepté).
- Marsala Ch., Bouchon B.**, Forests of Fuzzy Decision Trees, *IFSA'97 World Congress*, vol. 1, Prague (1997) pp. 369-374.
- Marsala Ch., Bouchon B.**, Fuzzy Partitioning using Mathematical Morphology in a Learning Scheme, *Proceedings FUZZ-IEEE'96*, New Orleans (1996).
- Meyer C., Akoulchina I., Ganascia J.-G.**, Two Approaches of Human Behavior Anticipation, *Proceedings Ninth International Conference on Tools with Artificial Intelligence, TAI'97*, Newport Beach, California, (1997).
- Meyer C., Ganascia J.-G., Zucker J.-D.**, Learning strategies in games by anticipation, *Proceedings of the Fifteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence IJCAI 97*, Nagoya, Japan, Morgan Kaufman (1997).
- Mokhtari M., **Akdag H.**, An Adaptative Technique for Pattern Recognition by the Random Neural Network, *European Symposium on Artificial Neural Networks (ESANN 96)*, Bruges (1996).
- Montacié C., Caraty M.-J.**, A Silence/Noise/Music/Speech Splitting Algorithm, *International Conference on Spoken Language Processing*, Sydney (1998) (accepté).
- Montacié C., Caraty M.-J., Barras C.**, Mixture Splitting Technic and Temporal Control in a HMM-Based Recognition System, *IEEE-International Conference on Spoken Language Processing*, Philadelphie (1996) pp. 977-980.
- Montacié C., Caraty M.-J., Lefevre F.**, KNN versus Gaussian in HMM-based Recognition System, *EuroSpeech*, Rhodes (1997) pp. 529-532.
- Montacié C., Caraty M.-J.**, Sound Channel Video Indexing, *EuroSpeech*, Rhodes (1997) pp. 2359-2362.
- Moulinier I., Ganascia J.-G.**, Applying an existing machine learning algorithm to text categorization. *Connectionist, statistical, and symbolic approaches to learning for natural language processing*, S. Wermter, E. Riloff and G. Scheler (Éds) LNAI, Springer-Verlag (1996).
- Neri F., Saitta L., Thiberguien **Zucker J.-D.**, Modelling Conceptual Change: Representational Issues, *Learning, in Humans and Machines*, Spada H. (ed) (1998).
- Nigro J.-M., Cazenave T.**, Constraint-based Explanations in Games, *IPMU*, Grenade (1996).
- Omri M.-N., Urdapilleta I., Barthelemy J., Bouchon B., Tijus C.**, Semantic Scales and Fuzzy Processing for Sensorial Evaluation studies, *International Conference IPMU'96*, Granada, Espagne (1996).
- Pecego G.**, Self-Evaluation of Problems Created by SYGEP, a System that Generates Problems, *AI-ED'97 World Conference on Artificial Intelligence in Education* (1997) pp. 650-652.
- Pecego G.**, Un générateur d'énoncés de problèmes de géométrie, *Xème Congrès RFIA*, Rennes (1996) pp. 377 -385.
- Pitrat J.**, L'explosion méta-combinatoire, *RFIA'98* (1998) Vol II, pp. 31-42.
- Pitrat J.**, Vers un métamathématicien artificiel, *La preuve à la lumière de l'Intelligence Artificielle*, Szczeciniarz et Sallantin (eds.), Nouvelle Encyclopédie Diderot, PUF (accepté).
- Ralescu A.L., **Bouchon B.**, Rules with Fuzzy Quantifiers and Applications, *3ème Congrès Européen de Systémique*, Rome (1996) pp. 495-500.
- Raudys S., **Cibas T.**, Regularization by Early Stopping in Single Layer Perceptron training, *ICANN-96*, Bochum (1996).
- Ricaud P.**, A Model of Strategy for the Game of Go Using Abstraction Mechanisms, *IJCAI 97*, Japon (1997).

- Ricaud P.**, Une approche pragmatique de l'abstraction, application à la modélisation de la stratégie élémentaire du jeu de Go, *Xème Congrès RFIA*, Rennes (1996).
- Rifqi M., Bothorel S., Bouchon B., Muller S.**, Similarity and prototype based approach for classification of microcalcifications, *7th IFSA World Congress*, Prague (1997) pp. 123-128.
- Rifqi M.**, Constructing Prototypes from large Databases, *International Conference IPMU'96*, Granada, Espagne (1996).
- Seridi H., **Akdag H.**, Le traitement de l'incertain par une Approche Qualitative, *Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-Based Systems (IPMU)*, Paris (1998).
- Stevenin-Barbier A., **Gallinari P.**, Semantic anticipation for understanding using neural networks, *PACES/SPICIS*, Singapore (1997).
- Thomas J., Ganascia J.-G., Laublet P.**, Apprentissage de connaissances d'un modèle d'expertise guidé par ses structures, Aussenac, Laublet, Reynaud (eds), *Tendances actuelles en acquisition et modélisation des connaissances*, Edition Cépadues (1996).
- Thomas J., Le Roux B.**, GDM refinements as learning Bias refinements, *EKA'96 (Position Papers)*, Nottingham (1996).
- Toudeft A., Gallinari P.**, Control of a Non-Minimum Phase System with Varying Time-Delay", *Proceedings of the International Symposium on Intelligent Control*, Michigan (1996).
- Toudeft A., Gallinari P.**, Neural Networks for Non-minimum Phase Systems with Varying Time-Delay : Modeling and Control, *Proceedings of the International Conference on Engineering Applications of Neural Networks*, Londres (1996).
- Toudeft A., Gallinari P.**, Neuro-Adaptive Control of a Non-Minimum Phase System with Varying Time-Delay, *Proceedings of the International Conference on Neural Information Processing*, Hong-Kong (1996).
- Yager R.R., **Kelman A., Bouchon B.**, Fuzzy Expert Systems and Decision-making, *International Fuzzy Systems and Intelligent Control Conference*, Maui, Hawaii (1996).
- Zaragoza H., d'Alché-Buc F.**, Confidence Measures for Neural Network Classifiers, *7th Conference on Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-Based Systems (IPMU'98)*, Paris (1998) (accepté).
- Zaragoza H., Gallinari P.**, Multiple Multivariate Regression And Global Optimization in a Large Scale Thermodynamical Application, *7th International Conference of Artificial Neural Networks (ICANN'97)*, Lausanne (1997) pp. 861-866.
- Zerrouki L., Bouchon B.**, Fuzzy systems for air traffic flow management, in *Computing with words in information/intelligent systems*, L.A. Zadeh and J. Kacprzyk (Eds.), Physica-Verlag (accepté).
- Zerrouki L., Bouchon B.**, Modelling by Fuzzy Interpolation, *Congrès International EUFIT'97*, Aachen (1997).
- Zerrouki L., Fondacci R., Bouchon B., Sellam S.**, Artificial intelligence techniques for coordination in air traffic flow management, *8th IFAC/IFIP/IFORS Symposium on Transportation Systems 97*, Chania, Grèce, (1997).
- Zucker J.-D., Ganascia J.-G.**, Changes of Representation for Efficient Learning in Structural Domains, *International Conference in Machine Learning*. Morgan Kaufmann (1996).
- Zucker J.-D., Ganascia J.-G.**, Learning Structurally Indeterminate Clauses, *Proc. The Eighth International Conference on Inductive Logic Programming (ILP'98)* (1998).
- Zucker J.-D.**, Representation Changes for Efficient Learning of Structured Descriptions, *ICML 96*. (1996).

Publications dans des actes de congrès ou des ouvrages de synthèse, notoriété courante (79)

- Akoulchina I., Faron C., Ganascia J.-G.**, SATELIT-Hypermedia system using intelligence, *Proc. of KAI-96, fifth Russian conference with an international participation "Artificial Intelligence-96"*, volume 2, Kazan, Russia (1996) pp 294-298.
- Akoulchina I., Ganascia J.-G.**, 'SAGE Agent for the SATELIT Web-based system', *Proceedings of the First International Conference on Web-based Modeling and Simulation (WebSim'98)*, Simulation Series, Volume 30 n° 1, (Eds. P.A.Fishwick, R.C.Hill, R.Smith) SCS, San-Diego, (1998), pp. 3-8.
- Akoulchina I., Ganascia J.-G.**, SAGE, un agent d'interface pour une "navigation active" du système SATELIT sur Internet, *Actes de JICAA97 (Journées francophones d'Inginière de Connaissances et Apprentissage Automatique)*, Roscoff, (1997) pp.403-415.
- Akoulchina I., Ganascia J.-G.**, An adaptive interface construction for the SATELIT system. *Proceedings of Applications for Computer System (ACS'96) Conference*, Szczecin, Poland (1996).
- d'Alché-Buc F., Canu S., Cibas T., Elisseeff A., Gallinari P., Paugam-Moisy H.**, Détermination et contrôle de la complexité dans les systèmes d'apprentissage numérique, *Journées du PRC IA*, Grenoble (1997).
- Borgi A., Bazin J.-M., Akdag H.**, A Numerical Approach to Approximate Reasoning via a Symbolic Interface. Application to Image Classification, *5th International Workshop Fuzzy-Neuro Systems'98*, Computational Intelligence, Munich (1998).
- Borgi A., Bazin J.-M., Akdag H.**, Classification supervisée d'images par génération automatique de règles, *Cinquièmes rencontres de la Société Francophone de Classification*, Lyon, (1997).
- Bouchon B.**, Spécificité et champs d'intérêt de la logique floue, *Colloque Actualité et enjeux de quelques logiques non classiques*, Neuchâtel (1996).
- Bouchon B., Kelman A.**, Utilisation de la théorie des possibilités dans un cadre opérationnel, *4ème Ecole sur les Systèmes d'Information et de Communication*, Campus Thomson (1996).
- Bouchon B., Marsala C., Ramdani M., Rifqi M.**, Generalization from Uncertain and Imprecise Data, *Intelligent Systems: a Semiotic perspective*, Gaithersburg (1996).
- Bournaud I., Faron C.**, Acquisition d'une mémoire structurée : l'adéquation du formalisme des graphes conceptuels, *Ingenierie des connaissances* (accepté).
- Bournaud I., Ganascia J.-G.**, Accounting for Domain Knowledge in the Construction of a Generalization-Space, *Proceedings of the third International Conference on Conceptual Structures*, Springer-Verlag Lectures Notes in AI n°1257 (1997) pp. 446-459,
- Bournaud I., Ganascia J.-G.**, Construction de hiérarchies conceptuelles pour l'organisation de connaissances, *Langages et Modèles à Objets, LMO'96* (1996).
- Bouzy B.**, L'élaboration d'un modèle cognitif dans un domaine complexe, *2ème colloque jeunes chercheurs en sciences cognitives*, (1996).
- Bouzy B.**, Spatial Reasoning in the Game of Go, *Workshop on Representations and Processes in Vision and Natural Language, ECAI 96*, Budapest (1996) pp. 78-80.
- Bouzy B.**, Un modèle du jeu de Go basé sur des interactions, *Systèmes multi-agent et intelligence artificielle distribuée*, Port-Camargue, Hermès (1996) pp. 73-84.
- Brouard C., Bouchon-Meunier B., & Tijus C.-A.**, Understanding verbal commands for Human Computer Interaction, *7ème Conférence Internationale IPMU*, poster, Paris (1998).

- Caraty M.-J., Barras C., Lefèvre F., Montacié C.**, D-DAL : un système de dictée vocale développé sous l'environnement HTK, *Actes 21èmes Journées d'Etudes de la Parole*, Avignon (1996) pp. 289-292.
- Cazenave T.**, Experimental Machine Consciousness, Namur (1998).
- Cazenave T.**, La Métaprogrammation Logique. Un outil pour Créer et Transformer de Grands Programmes, *Journées Re-Ingenierie des Systèmes d'Informations*, Lyon (1998).
- Cazenave T.**, Gogol (an Analytical Learning Program), 1997 FOST cup, IJCAI'97, Nagoya. (1997).
- Cazenave T.**, Automatic Acquisition of Tactical Go Rules, *Game Programming Workshop*, Tokyo (1996).
- Cazenave T.**, Automatic Ordering of Predicates by Metarules, *Proceedings of the 5th International Workshop on Metaprogramming and Metareasoning in Logic*, Bonn (1996).
- Cazenave T.**, Learning to Forecast by Explaining the Consequences of Actions, *Proceedings of the First International Workshop on Machine Learning, Forecasting, and Optimization*, Madrid (1996) pp. 29-38.
- Cazenave T.**, Self Fuzzy Learning, *International Workshop on Logic Programming and Soft Computing*, Bonn (1996).
- Cazenave T., Moneret R.**, Development and Evaluation of Strategic Plans, *Proceedings of the Game Programming Workshop in Japan'97*, Hakone (1997).
- Chopard-Guillaumot G., Hadj-Mabrouk H., Ganascia J.-G.**, Aide aux analyses préliminaires de risques des systèmes de transport guidés, *10ème Colloque national de fiabilité et maintenabilité*, Saint-Malo, tome 1, (1996) pp. 378-386.
- Darricau M., Hadj-Mabrouk H., Ganascia J.-G.**, A model for reusing specifications of safety-critical software in the field of automated people movers, *Congrès IEEE, Computational engineering in systems applications*, Nabeul-Hammamet, (accepté)
- Darricau M., Hadj-Mabrouk H., Ganascia J.-G.**, Acquisition and structuration of knowledge of safety critical software specifications, *8th IFAC Symposium on Transportation Systems*, Chania, Greece, Volume 3, (1997) pp. 1227-1231.
- Eude V., Bouchon-Meunier B., Collain E.**, Reconnaissance d'activités à l'aide de graphes temporels flous, *Rencontres francophones sur la logique floue et ses applications LFA'97*, Lyon (1997).
- Faron C., Akoulchina I., Ganascia J.G.**, Integrating knowledge in hypermedias : the system SATELLIT, *Proceedings of CESA'96 IMACS Multiconference*, Lille (1996).
- Faudemay P., Cheng L., Montacié C., Caraty M.-J., Maloigne C., Tu X., Ardebilian M., Le Floch J.-L.***, Multi-Channel Video Segmentation, *Actes International Conference on Multimedia Storage and Archiving System, SPIE Symp.*, Boston (1996).
- Faudemay P., Montacié C., Caraty M.-J.**, Video Indexing Based on Image and Sound, *Actes International Conference on Multimedia Storage and Archiving System, SPIE Symp.*, Dallas (1997) pp. 57-69.
- Fredon A.**, Les émotions : Quels intérêts pour l'homme ?, Kornman (ed.), *Colloque Intelligence Artificielle de Berder*, Rapport de recherche LIP6 1998/007, (1998) pp. 25-31.
- Gacogne L.**, Optimisation multicritère de contrôleurs flous par une stratégie d'évolution approchant la zone de Pareto, *Rencontres Francophones sur la Logique Floue et ses Applications*, Nancy, Cépadues (1996).
- Ganascia J.-G.**, CHARADE & fils : évolutions, applications et extensions, Induction symbolique et numérique, Cépadues (accepté).
- Ganascia J.-G.**, Logique et induction: un vieux débat, *Induction symbolique et numérique*. Cépadues (accepté).

- Garcia-Salicetti S.**, Dorizzi B., **Gallinari P.**, Wimmer Z., Gentric S., Segmentation dynamique et réseaux de neurones prédictifs pour la reconnaissance de mots en ligne, *Proceedings Conférence nationale sur l'écrit et le document (CNED '96)*, Nantes (1996).
- Glowinski R., Mantel B., Periaux P., **Sefrioui M.**, Algorithmes génétiques : une nouvelle technologie de calcul pour la résolution de problèmes d'optimisation complexes en aéronautique, *INFAUTOM'96* Toulouse (1996).
- Goutte. C.**, On the use of a pruning prior for neural networks, Neural Networks for Signal Processing VI, *Proceedings of the 1996 IEEE Workshop*, Kyoto (1996).
- Grolimund S.**, Accélération des mémoires de cas du type plus proches voisins, *Journées françaises d'apprentissage* (1996).
- Guermeur Y., d'Alché Buc F., Gallinari P.**, Combinaison linéaire optimale de classifieurs, *XXIX^e journées de statistiques*, Carcassonne (1997).
- Hadj-Mabrouk H., **Chopard-Guillaumot G., Darricau M.**, Tools for providing aide for modelling, storing and assessing safety analyses in the area of terrestrial guided transport, *29^e symposium international sur les technologies automobiles et l'automatique* (1996).
- Le Floch J.-L., Montacé C., Caraty M.-J.**, Coopération et compétition de modèles en reconnaissance du locuteur, *Actes 21^{èmes} Journées d'Etudes de la Parole*, Avignon (1996) pp. 395-398.
- Le Roux B., Thomas J.**, Essai d'intégration dans un processus de raffinement des MRP des engagements ontologiques sur le domaine, *JAVA'96*, Sète, France (1996).
- Le Roux B., Thomas J.**, Integrating the domain ontological commitments into the process PSM refinements, *EKAW'96* (Position Papers), Nottingham (1996).
- Marsala Ch.**, Stability of fuzzy decision trees when classifying evolving observations, *Third International FLINS Workshop on Fuzzy Logic and Intelligent Technologies for Nuclear Science and Industry*, Anvers, Belgique (1998) (accepté).
- Marsala C., Bouchon B.**, Fuzzy Learning from Examples, *International Panel Conference on Soft and Intelligent Computing*, Budapest (1996).
- Marsala Ch., Rifqi M.**, Inductive views of generalization, (extended abstract), *Proc. of the Int. Conf. EUFIT'97*, vol. 2, Aachen (1997) pp. 939-941.
- Masson M.**, Diagnosis and Reasoning Reifying, Expert Systems Applications and Artificial Intelligence, *EXPERTSYS 96* (1996).
- Masson M.**, Réifier le raisonnement pour améliorer les explications dans les Systemes à Base de Connaissances : une application au diagnostic medical, *RJC-IA 96'* Nantes (1996).
- Masson M.**, Réifier le raisonnement: un moyen pour obtenir des explications dans les Systemes à Base de Connaissances, *III^e Journées Explication*, Sophia Antipolis (1996).
- Meyer C., Ganascia J.-G.**, Utilization of imitation and anticipation mechanisms to bootstrap an evolutive distributed artificial intelligence system. *Proceedings of ICMAS'96*, 1996 .
- Meyer C., Ganascia J.-G., Zucker J.-D.**, Modélisation de stratégies humaines par Apprentissage et Anticipation génétiques, *Proc. Journées Française de l'apprentissage, JFA'97*, (1997).
- Moneret R.**, Les émotions mécaniques, Kornman (ed.), *Colloque Intelligence Artificielle de Berder*, Rapport de recherche LIP6 1998/007, (1998) pp. 15-24.
- Montacé C., Caraty M.-J., Lefèvre F.**, Lexique dynamique dans un système de reconnaissance de la parole, *Actes du Congrès Français d'Acoustique*, Marseille (1997) pp. 413-416.

- Moulinier I.**, A Framework for Comparing Text Categorization Approaches, *AAAI Spring Symposium on Machine Learning and Information Access*, Stanford University (1996).
- Moulinier I., Ganascia J.-G.**, Applying an existing machine learning algorithm to text categorization. Connectionist, statistical, and symbolic approaches to learning for natural language processing, S. Wermter, E. Riloff and G. Scheler (Eds), LNAI, Springer-Verlag (1996).
- Moulinier I., Raskinis G., Ganascia J.-G.**, Text Categorization: a Symbolic Approach. *SDAIR96*, Las Vegas (1996).
- Nigro J.-M.**, Des métaconnaissances pour commenter les actions de l'utilisateur, *CARI'96*, Libreville (1996).
- Nigro J.-M.**, La construction d'un commentaire stratégique, *Journées explication* (1996).
- Pecego G.**, Auto-évaluation des énoncés générés par SYGEP, un système de génération d'énoncés de problèmes, *5èmes Journées E.I.A.O de Cachan* (1997) pp. 159-170.
- Pecego G.**, SYGEP, a Problem Generator for Various Domains, *EXPERTSYS-96* (1996) pp. 361-366.
- Pitrat J.**, Reconnaître les émotions des êtres humains, Kornman (ed.), *Colloque Intelligence Artificielle de Berder*, Rapport de recherche LIP6 1998/007, (1998) pp. 33-45.
- Pitrat J.**, Méta-expliquer pour apprendre une stratégie, *Journées Explication* (1996).
- Ricaud P.**, Abstraction Mechanisms to Modelize Human Strategy in the Game of Go, *EXPERTSYS-96* (1996).
- Rifqi M.**, Mesures de comparaison, prototypes, et raisonnement, *5ème Séminaire Français sur le Raisonnement à partir de Cas*, AFCET, Lyon (1996).
- Rolland P.-Y., Ganascia J.-G.**, Automated Identification of Prominent Motives Jazz Solos Corpuses, *Proceedings of the 4th International Conference on Music Perception and Cognition (ICMPC'96)*, Montréal (1996).
- Rolland P.-Y., Ganascia J.-G.**, Automated Motive-Oriented Analysis of Musical Corpuses : a Jazz Case Study, *International Computer Music Conference (ICMC '96)*, Hong Kong (1996).
- Saitta L., **Zucker J.-D.**, Abstraction for Concept Representation, *Proc. The Fourth International Workshop on Multistrategy Learning (MSL'98)*, Brescia, (1998).
- Saitta L., **Zucker J.-D.**, Semantic Abstraction for Concept Representation and Learning, *Proc. Symposium on Abstraction, Reformulation and Approximation (SARA98)* (1998).
- Seridi H., Bannay-Dupin de St Cyr F., **Akdag H.**, "Qualitative Operators For Dealing With Uncertainty", *5th International Workshop Fuzzy-Neuro Systems'98*, Computational Intelligence, Munich (1998).
- Tchoumatchenko I., Ganascia J.-G.**, Bayesian knowledge incorporation, *AI and Mathematics*, Florida, (1996).
- Thomas J., Le Roux B.**, Cycle de raffinements du biais d'apprentissage : un exemple basé sur les modèles, *JAVA'96*, Sète, France (1996).
- Turle C.**, Automated Generation of Interesting Conjectures, *EXPERTSYS-96* (1996) pp. 27-36.
- Zaragoza H., Gallinari P.**, Coupled Hierarchical IR and Stochastic Models for Surface Information Extraction, *The 20th Annual Colloquium on IR Research*, British Computer Society's Information Retrieval Specialist Group (BCG-IRSG'98), Autrans (1998) (accepté).
- Zaragoza H., Gallinari P.**, Modèle Hiérarchique de Recherche et d'Extraction de l'Information Textuelle de Surface, *Journées Francophones d'Apprentissage (JFA'98)*, Arras (1998) (accepté)

Zerrouki L., Un système hiérarchique flou pour le traitement de l'incertitude en temps réel, *3ème Congrès Européen de Systémique*, Rome (1996).

Zucker J.-D., Chevalere Y., Comprendre et résoudre les problèmes d'apprentissage multi-instancés et multi-parties, *Proc. 13èmes Journées Francophones sur l'Apprentissage*, (1998).

Brevets, logiciels distribués par ftp (1)

Montacié C., Le-Floch J.-L., Caraty M.-J., Procédé de reconnaissance vocale d'un locuteur mettant en œuvre un modèle prédictif, notamment pour des applications de contrôle d'accès (brevet déposé pour la France, le 3 mai 1996, n° 9605566).

Divers et rapports de recherche (25)

Bouzy B., *Incremental updating of objects in INDIGO*, RR LAFORIA96/28, octobre 1996.

Cazenave T., *Système d'apprentissage par Auto-Observation. Application au jeu de Go*, Rapport de recherche LIP6 1997/034, décembre 1997.

Ganascia J.-G., Article " Interactivité " dans *Le siècle rebelle*, Larousse (accepté).

Ganascia J.-G., Articles " Apprentissage symbolique " et " Symbole " dans *Dictionnaire des Sciences Cognitives*, PUF (1998).

Ganascia J.-G., Compte rendu du cycle de réflexion de prospective consacré au thème " cognition et communication ", rapport interne du Groupement d'Intérêt Scientifique " Sciences de la cognition " (1996).

Ganascia J.-G., *Encyclopedia Universalis*, supplément (1996).

Ganascia J.-G., La place de l'homme, *Défense*, N° 71, (1996).

Goutte C., Ledoux C., *Overview of Connectionist Control Using MLP*, RR LAFORIA96/15, mai 1996.

Grolimund S., Ganascia J.-G., *Speeding up Nearest Neighbour Memories : The Template Tree Case Memory Organisation*, RR LAFORIA96/13, mai 1996.

Kornman S., *Colloque Intelligence Artificielle, 16-18 septembre 1997, Ile de Berder*, Rapport de recherche LIP6 1998/007, mars 1998.

Kosheleva O., **Kreinovich V.**, *Error Estimation for Indirect Measurements : Interval Computation Problem is (Slightly) Harder than a Similar Probabilistic Computational Problem*, RR LAFORIA96/24, septembre 1996.

Kreinovich V., *S. Maslov's iterative method : 15 years later. Freedom of Choice, Neural Networks, Numerical Optimization, Uncertainty Reasoning, and Chemical Computing*, RR LAFORIA96/23, septembre 1996.

Kreinovich V., Bouchon-Meunier B., Cloteaux B., Eick C., *From ordered beliefs to numbers: how to elicit numbers without asking for them (doable but computationally difficult)*, RR LAFORIA96/20, juin 1996.

Labat J.-M., Pomerol J.-Ch., Nigro J.-M., Caron J., Caron-Pargue J., Fievre M.-D.*, *Computers and Human Problem Solving Strategies : The Case of the Tower of Hanoi*, RR LAFORIA97/02, mars 1997.

Laurière J.-L., *Propagation de contraintes ou programmation automatique ?*, RR LAFORIA96/19, juin 1996.

Ledoux C., *Application of Neural Networks to Long Term Prediction of Queue Length at an Urban Traffic Junction*, RR LAFORIA96/17, juin 1996.

Leray P., Gallinari P., *Feature Selection with Neural Networks*, Rapport de recherche LIP6 1998/012, mars 1998.

Leray P., Gallinari P., *Report on Variable Selection, Neurosat report Environnement and Climate*, DG XII, ENV4-CT96-0314, D-1-1-1, 1997.

- Meyer C., Ganascia J.-G., S.A.G.A.C.E. :** *Solution Algorithmique Génétique pour l'Anticipation de Comportements Evolutifs*, RR LAFORIA96/32, décembre 1996.
- Pitrat J.,** Article “ Méta ” dans *Dictionnaire des Sciences Cognitives* , PUF (1998).
- Pitrat J.,** *Implementation of a reflective system*, RR LAFORIA96/02, janvier 1996.
- Pitrat J.,** *Méta-expliquer pour apprendre une stratégie*, RR LAFORIA96/21, juillet 1996.
- Pitrat J.,** *Ce titre contient quatre 'a', un 'b', cinq 'c', cinq 'd', dix-neuf 'e', deux 'f', un 'g', deux 'h', treize 'i', un 'j', un 'k', un 'l', un 'm', seize 'n', trois 'o', quatre 'p', sept 'q', sept 'r', sept 's', quinze 't', dix-huit 'u', un 'v', un 'w', six 'x', un 'y' et quatre 'z'*, RR LAFORIA96/26, septembre 1996.
- Ralescu A. L., Bouchon-Meunier B., Ralescu D. A.,** *Combining Fuzzy Quantifiers*, RR LAFORIA96/08, février 1996.
- Turle C.,** *Automated Generation of Interesting Conjectures*, RR LAFORIA96/22, juillet 1996.

Animation de la recherche

Activités éditoriales

Conseils scientifiques de collection

Bouchon B.,

- CSIC Publications (Espagne), Collection Theoretical studies on vagueness, uncertainty and fuzzy logic (comité éditorial)
- IEEE Press Book Series, Collection Emerging Technologies in Biomedical Engineering (comité éditorial)
- Handbook of Fuzzy Computation, Oxford University Press (en préparation) (comité éditorial)
- International Handbook on Fuzzy Sets and Possibility Theory, Kluwer Academic (en préparation) (comité consultatif)

Ganascia J.-G.,

- Revue La Recherche (conseil scientifique)

Pitrat J.,

- Presses Universitaires de France, collection Psychologie et Sciences de la Pensée (comité d'évaluation scientifique)

Rédacteur de revues et membres de comités de lecture

d'Alché-Buc F.,

- Revue Electronique d'Apprentissage par les Données (comité de lecture)

Bouchon B.,

- International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-based Systems, World Scientific Publishing (rédacteur en chef)
- Analyse de systèmes (comité de rédaction)
- Revue Internationale de Systémique, Dunod (comité de rédaction de la revue, co-responsable de la rubrique Applications)
- Bulletin pour les sous-ensembles flous et leurs applications (comité de rédaction)
- Revue d'intelligence artificielle, Hermès (comité de rédaction)

Ganascia J.-G.,

- Revue d'intelligence artificielle, Hermès (comité de rédaction)
- International Journal of Human Computer Studies
- Revue Electronique d'Apprentissage par les Données

Gallinari P.,

- Revue d'intelligence artificielle (comité de lecture)
- Traitement du signal (comité de lecture)

Pitrat J.,

- International Journal of Expert Systems (bureau éditorial)
- AI Communications (bureau éditorial)
- Revue d'intelligence artificielle (bureau éditorial)
- Revue scientifique et technique de la défense (comité scientifique et technique)

Zucker J.-D.,

- Revue Electronique d'Apprentissage par les Données
- Bulletin de l'AFIA (Association Francaise d'Intelligence Artificielle)

Éditeur d'actes de congrès ou d'ouvrages collectifs

Bouchon B.,

- Aggregation and fusion of imperfect information, Physica Verlag, 1997

Gallinari P.,

- Industrial Applications of Neural Networks, World Scientific, 1997, (co-éditeur avec Fogelman F.)

Rédacteur associé d'une revue

Bouchon B.,

- Le traitement cognitif de données imparfaites, *Revue Internationale de Systémique*, vol 11-1 (co-éditeur) 1997

Organisation scientifique de congrès et colloques

Président de conférence

Bouchon B.,

- 6th International Conference on Information Processing and Management of Uncertainty in knowledge-based systems (IPMU), Grenade, Espagne, 1996 (co-présidente)

Membre de comité de programme ou de comité scientifique d'un congrès

Bouchon B.,

- European Workshop on Fuzzy Decision Analysis for Management, Planning and Optimization, EFDAN, Dortmund 1996
- Flexible Query-Answering Systems Copenhagen, FQA'96, 1996
- European Congress on Intelligent Techniques and Soft Computing, Aachen, 1996 et 1997 (EUFIT)
- 5th International IEEE Conference on Fuzzy Systems, New Orleans, 1996
- Congrès Européen de Systémique, Rome, 1996
- Rencontres Francophones sur la Logique Floue et ses Applications, Nancy, 1996

- International Workshop CIFT/MEPP, Aversa/Napoli, Italie, 1996
- 6th International IEEE Conference on Fuzzy Systems, Barcelone, 1997
- IJCAI-97 Workshop on Fuzzy Logic in Artificial Intelligence, Nagoya, 1997
- International Conference on Qualitative and Quantitative Practical Reasoning, Bad Honnef, 1997
- 7th International Fuzzy Systems Association World Congress, Prague, 1997 (Présidente de la section “Artificial Intelligence and Information Systems”)
- Rencontres Francophones sur la Logique Floue et ses Applications, Lyon, 1997
- Intelligent Systems and Semiotics, Gaithersburg, USA, 1997
- 5th European Congress on Intelligent Techniques and Soft Computing (EUFIT'97), Aachen, 1997
- ISCA International Conference on Intelligent Systems, Fontainebleau, 1998
- International Conference on Flexible Query Answering Systems, FQAS'98, Roskilde (Danemark), 1998
- 15ème Congrès International de Cybernétique, Namur, 1998
- 6th European Congress on Intelligent Techniques and Soft Computing (EUFIT'98), Aachen, 1998
- Symposium on Fuzzy Systems and Applications, Halong Bay, Vietnam, 98

Gallinari P.,

- International Conference on Artificial Neural Networks, ICANN, 1996
- Approches Neuronales en Sciences Economiques de Gestion, ANSEG, 1997
- Journées Françaises de l'Apprentissage, JFA, 1997
- Reconnaissance des Formes et Intelligence Artificielle, RFIA, 1998
- Information Processing and Management of Uncertainty in knowledge-based systems, IPMU, 1998

Ganascia J.-G.,

- ECML
- EKAW
- Journées Françaises d'Apprentissage, JFA
- JAC

Montacié C.,

- Journées d'étude sur la parole, Avignon, 1996 (Comité scientifique)

Pitrat J.,

- ECAI 96, Budapest, 1996
- ISPS 97 Alger, 1997
- IPMU 98, Paris, 1998

Zucker J.-D.,

- MSL'98, 1998
- CRW'98 (Collective Robotics Workshop), Paris, 1998
- JCIA'98, 1998
- Journées Francophone d'Apprentissage (JFA'98), Arras, 1998

Organisation de séminaires

Bouchon B. et Rifqi M.,

- Séminaire intelligence artificielle et processus de décision, en collaboration avec le groupe de travail Information et Système de l'AFCECET
- Groupe d'étude de la DRET sur la logique floue

Pitrat J.,

- Séminaire Intelligence Artificielle de l'AFCECET (en collaboration avec A. Collinot et J-L. Dormoy)

Administration de la recherche

d'Alché-Buc F.,

- Responsable du thème Approches constructives pour l'apprentissage au sein du groupe de travail Apprentissage AFCECET-AFIA

Bouchon B.,

- Co-présidente du Human Resource Committee du réseau d'excellence ERUDIT, ESPRIT III Basic research action
- Rapporteur scientifique du club CRIN logique floue (jusqu'en 1996)
- Membre du Bureau du Club CRIN Ingénierie du Traitement de l'Information (depuis 1997)
- Membre du Comité Directeur du Comité Technique Systémique et Cognition de l'AFCECET
- Membre du Conseil Scientifique de l'Ecole d'Ingénieurs en Génie des Systèmes Industriels, La Rochelle

Caraty M.-J.,

- Membre de la commission de spécialistes, section informatique (UPMC)
- Animateur adjoint du groupe de réflexion sur la dictée vocale de l'AUPELF-UREF

Gallinari P.,

- Responsable en France du comité scientifique du réseau d'excellence européen NEuroNet, membre du bureau et responsable du comité scientifique de ce réseau
- Membre de la commission de spécialistes, section informatique et section traitement du signal (UPMC)
- Responsable d'un groupe du GDR-PRC IA (94-97)

Ganascia J.-G.,

- Directeur du Groupement d'Intérêt Scientifique (GIS) Sciences de la Cognition
- Responsable d'une équipe du PRC intelligence artificielle
- Directeur d'une équipe associée à un réseau d'excellence européen (MLnet)
- Membre de la commission de spécialistes, section informatique (UPMC)
- Membre du conseil scientifique des conférences Jean Nicod, conférences de philosophie organisées par le (GIS) Sciences de la Cognition
- Membre du comité scientifique de l'institut des textes et manuscrits (PR7) du CNRS
- Membre du comité scientifique des laboratoires : I3S (Nice), LISI (Lyon), ENST, ITEM
- Examinateur externe du Master of science in applied artificial intelligence de l'Université d'Aberdeen, Ecosse (jusqu'en 1996)
- Membre du comité scientifique du GDR “ Casini ” jusqu'en 1999
- Membre du comité scientifique du programme “ Patrimoine écrit ” du CNRS jusqu'en 1997

Kieu L.-Q.,

- Assistante du directeur du Groupement d'Intérêt Scientifique (GIS) Sciences de la Cognition

Montacié C.,

- Membre du conseil de l'UFR d'informatique (UPMC) (jusqu'en 1997)
- Membre du comité de direction du GDR-PRC CHM
- Coordinateur du projet GDR-PRC AMIBE
- Membre du bureau du groupe francophone de la communication parlée de la société française d'acoustique

Pitrat J.,

- Membre de la commission de spécialistes, section informatique (UPMC)
- Membre du Conseil scientifique des thèmes (LIP6)
- Membre du conseil scientifique du LIMSI (UPR 3251)
- Membre du conseil pédagogique du DEA sciences cognitives (jusqu'en 1996)

Rifqi M.,

- Membre du conseil de l'UFR d'informatique, UPMC (jusqu'en 1996)

Zucker J.-D.,

- Responsable du projet Environnement multi-stratégique pour la Fouille de Données (Data Mining) entre l'académie des Sciences de Pékin et l'Université Paris VI, Projet PRA (1997-2000)
- Membre du projet GIS-Science de la cognition "Apprentissage de données complexes". Projet N°CNA 47 (1997-1999)
- Bourse de l'European Science Foundation (ESF fellowship) pour participer au programme Européen de recherche Learning in Humans and Machines sous la direction du Pr. Peter Reinman (Univ. Freiburg). Membre de la Task Force 1 : "Changements de représentation" (1996-1999)
- Membre titulaire de la commission de spécialistes, université Paris XI (1998-2002)
- Membre suppléant de la commission de spécialistes, université de Tours
- Membre suppléant de la commission de spécialistes, université de Nantes

Formation par la recherche

Habilitations et thèses (27)

Attipoe K., *Modélisation interactive de connaissances : documents et mémoire techniques*, Thèse d'université, UPMC, 26/11/96, encadrée par Boy G. et Ganascia J.-G.

Badran F., *Réseaux de neurones : une méthodologie pour la modélisation, l'interprétation et le traitement des données géophysiques*, Habilitation à diriger des recherches, UPMC, 19/12/96, encadrée par Gallinari P.

Barras C., *Reconnaissance de la parole continue : adaptation au locuteur et contrôle temporel dans les modèles de Markov cachés*, Thèse d'université, UPMC, 29/05/96, encadrée par Caraty M.-J. et Montacié C.

Biem A., *Extraction de paramètres discriminatifs. Application à la reconnaissance de la parole*, Thèse d'université, UPMC, 28/11/97, encadrée par Katagiri et Gallinari P.

Bothorel S., *Analyse d'image par arbre de décision flou. Application à la classification sémiologique des amas de microcalcifications*, Thèse d'université, UPMC, 13/12/96, encadrée par Bouchon-Meunier B.

- Bournaud I.***, *Regroupement conceptuel pour l'organisation de connaissances*, Thèse d'université, UPMC, 4/10/96, encadrée par Mathieu J.
- Cazenave T.**, *Système d'apprentissage par auto-observation. Application au jeu de Go.*, Thèse d'université, UPMC, 13/12/96, encadrée par Pitrat J.
- Cibas T.**, *Contrôle de la complexité dans les réseaux de neurones : régularisation et sélection de caractéristiques*, Thèse d'université, Université d'Orsay, 18/12/96, encadrée par Gallinari P.
- Corruble V.**, *Possibilité et limitations d'une approche inductive de la découverte en médecine*, Thèse d'université, UPMC, 13/06/96, encadrée par Ganascia J.-G.
- Faron C.**, *Connaissances taxinomiques : représentation de taxinomies comportant des exceptions et construction d'hypermedias à base de connaissances taxinomiques*, Thèse d'université, UPMC, 20/10/97, encadrée par Ganascia J.-G.
- Garcia S.**, *Une approche neuronale prédictive pour la reconnaissance en ligne de l'écriture cursive*, Thèse d'université, UPMC, 17/12/96, encadrée par Gallinari P. et Dorizzi B.
- Goutte C.**, *Apprentissage statistique et régularisation pour la régression. Application à l'identification de systèmes et à la modélisation de séries temporelles*, Thèse d'université, UPMC, 7/07/97, encadrée par Gallinari P.
- Grolimund S.**, *Apprentissage de connaissances de contrôle pour l'optimisation combinatoire : intégration du raisonnement à partir de cas dans la méthode Tabou*, Thèse d'université, UPMC, 20/02/97, encadrée par Ganascia J.-G.
- Guermeur Y.**, *Combinaison de classifieurs statistiques, Application à la prédiction de la structure secondaire des protéines*, Thèse d'université, UPMC, 10/12/97, encadrée par Gallinari P.
- Kelman A.**, *Modèles flous pour l'agrégation de données et l'aide à la décision*, Thèse d'université, UPMC, 3/12/96, encadrée par Bouchon-Meunier B.
- Ledoux C.**, *Application des techniques connexionnistes à l'identification de systèmes dynamiques*, Thèse d'université, UPMC, 7/03/97, encadrée par Gallinari P.
- Marsala C.**, *Apprentissage inductif en présence de données imprécises : construction et utilisation d'arbres de décision flous*, Thèse d'université, UPMC, 6/01/98, encadrée par Bouchon-Meunier B.
- Ménage X.**, *Système flou pour le contrôle de qualité*, Thèse d'université, UPMC, 17/09/96, encadrée par Bouchon-Meunier B.
- Moulinier I.**, *Une approche de la catégorisation de textes par l'apprentissage symbolique*, Thèse d'université, UPMC, 29/11/96, encadrée par Ganascia J.G.
- Pecego G.**, *SYGEP, Un Système de Génération d'Enoncés de Problèmes dans des domaines variés*, Thèse d'université, UPMC, 12/06/98, encadrée par Pitrat J.
- Ramalho G.**, *Construction d'un agent rationnel jouant du jazz*, Thèse d'université, UPMC, 13/01/97, encadrée par Ganascia J.-G.
- Rifqi M.**, *Mesures de comparaison, typicalité et classification d'objets flous : théorie et pratique.*, Thèse d'université, UPMC, 18/12/96, encadrée par Bouchon-Meunier B.
- Séfrioui M.**, *Algorithmes évolutionnaires pour le calcul scientifique : Application à l'électromagnétisme et à la mécanique des fluides*, Thèse d'université, UPMC, 29/04/98, encadrée par Ganascia J.-G. et Périaux J.
- Stevenin A.**, *Réseaux connexionnistes pour le traitement symbolique-numérique : une application à la compréhension du langage*, Thèse d'université, UPMC, 26/03/96, encadrée par Gallinari P.
- Thomas J.**, *Vers l'intégration de l'apprentissage symbolique et de l'acquisition de connaissances basée sur les modèles : le système ENIGME*, Thèse d'université, UPMC, 3/12/96, encadrée par Ganascia J.-G.

Turle C., *ASGARD : un système qui résoud des problèmes énoncés déclarativement. Application : la découverte de nouveaux concepts en mathématiques*, Diplôme d'études doctorales, UPMC, 16/12/97, encadré par Pitrat J.

Zucker J.-D.*, *Appariements et changements de représentation pour l'apprentissage symbolique*, Thèse d'université, UPMC, 8/01/96, encadrée par Mathieu J. et Ganascia J.-G.

Projets et contrats

Participation aux grands programmes de recherche nationaux

PRC-GDR communication homme-machine

Pôle Parole, AMIBE

Responsables scientifiques : C. Montacié, M.-J. Caraty, durée : 7/93-7/96, financement : 177 kF

Groupe de Recherche et d'Etude sur les Génomes

Etude du repliement des protéines à l'aide de techniques d'apprentissage symbolique et de réseaux de neurones formels

Responsable scientifique : J.-G. Ganascia

Contrats avec les établissements publics

CTI CNET [Adaptation de réseaux de neurones pour le diagnostic et la prévision du trafic téléphonique]

Responsable scientifique : P. Gallinari, Y. Bennani (Paris 13), durée : 01/95-01/98, financement : 650 kF

Réaliser du diagnostic temps réel dans les réseaux téléphoniques

AUPELF-URELF [Linguistique, informatique, et corpus oraux dictée vocale]

Responsable scientifique : M.-J. Caraty, durée : 8/95-8/98, financement : 160 kF

EDF [État de l'art dans les domaines de la métaconnaissance et de l'apprentissage]

Responsable scientifique : J. Pitrat, durée : 1/98-12/99, financement : 180 kF

EDF [Spécification et réalisation d'un générateur de programmes à partir d'algorithmes de bas niveau dans le cadre du projet Descartes]

Responsable scientifique : J. Pitrat, durée : 1/95-1/96, financement : 450 kF

DRET [Approche de la catégorisation par la logique floue]

Responsable scientifique : B. Bouchon-Meunier, durée : 8/95-8/97, financement : 228 kF

L'objectif de ce projet est de mettre au point un système de compréhension des commandes d'un sujet par un dispositif technique, à partir de logique floue et de réseaux sémantiques d'action.

Partenaire : Université Paris VIII

INRETS [Étude de la faisabilité d'un système à base de connaissance pour l'aide à l'analyse préliminaire de risques dans les systèmes de transport automatisés. Capitalisation, évaluation et réutilisation des erreurs de logiciels critiques de sécurité ; application à la certification des systèmes de transports guidés]

Responsable scientifique : J.-G. Ganascia, durée : 1996, financement : 100 kF

Contrats industriels

GEMS-E [Analyse sémiologique des signes radiologiques dans le cadre de l'imagerie médicale]

Responsable scientifique : B. Bouchon-Meunier, durée : 12/93-11/96

Il s'agissait d'utiliser la logique floue pour l'analyse de microcalcifications sur des mammographies et l'aide au diagnostic des signes malins dans le cancer du sein.

Matra [Étude d'algorithmes de détection de mots en environnement bruité]

Responsable scientifique : M.-J. Caraty, C. Montacié, durée : 2/95-1/97, financement : 150 KF

GIAT Industries [Système d'aide à la décision de tir]

Responsable scientifique : B. Bouchon-Meunier, durée : 11/95-11/98

Il s'agit de mettre au point une aide à la décision de tir par les chars en position de combat, à partir des informations disponibles sur le terrain

Thomson CSF [Modélisation de contraintes spatio-temporelles floues dans les Gabarits]

Responsable scientifique : B. Bouchon-Meunier, durée : 12/95-12/98

Il s'agit d'incorporer la modélisation de contraintes spatio-temporelles floues dans la technique des Gabarits et la propagation de ces contraintes dans un raisonnement approximatif et incertain.

Schneider Electric [Les réseaux de neurones comme technique de détection et de diagnostic de défauts dans les réseaux électriques]

Responsable scientifique : P. Gallinari, durée : 1996, financement : 90 KF

Philips [Modèles connexionnistes adaptatifs pour systèmes temps réel]

Responsable scientifique : P. Gallinari, durée : 2/96-1/98, financement : 150 KF

Dassault Aviation [Optimisation du profil d'ailes d'avion et de la réflectance radio à l'aide d'algorithmes génétiques]

Responsable scientifique : J.-G. Ganascia, durée : 2/96-12/98, financement : 120 kF

GEMS-E [Aide au diagnostic flou à partir d'images médicales]

Responsable scientifique : B. Bouchon-Meunier, durée : 03/97-03/99

Il s'agit de poursuivre le travail précédent en intégrant l'analyse d'autres indicateurs sur les mammographies, ainsi que des signes cliniques annexes.

La Poste [Réalisation d'une étude sur la reconnaissance automatique de caractères manuscrits]

Responsable scientifique : P. Gallinari, durée : 6/98-6/2001, financement : 525 kF

Contrats internationaux

Ingenet (BRITE-EURAM n° 97 5034) Networked industrial design and control applications using genetics algorithms and evolution strategies

Responsable scientifique : J.-G. Ganascia, durée : 11/97-11/2000, financement : 237 kF

Le LIP6 est sous-contractant de Dassault-Aviation

NEuroNet (ESPRIT III BRA n° 8961) Réseau d'excellence sur les réseaux de neurones

Responsable scientifique français : P. Gallinari, durée : 5/94-5/97, financement : 100 kF

NeuroNet est un réseau d'excellence sur les réseaux de neurones. Le but de ce projet est de développer et promouvoir ces techniques auprès du milieu industriel et de fédérer les activités européennes en matière de recherche dans les organismes publics. La structure actuelle de ce réseau est : un nœud principal (King's College, London), un nœud coordinateur dans chaque pays de la communauté et des nœuds dits associés dans l'ensemble de ces pays.

Partenaires : King's College, London (UK), Università Degli Studi di Genova (I), Université Libre de Bruxelles (B), Technical University of Denmark (DK), Era Technology LTD (UK), University of Nijmegen (NL), Universität Bonn (D), Instituto de Ingenieria del Conocimiento (E), National Technical University of Athens (GR), Siemens AG (D), Kungliga Tekniska Hogskolan (S), Paris 6 (FR), Helsinki University of Technology (SF)

Learning in Humans and Machines, Term Programme, European Science Foundation

Responsable scientifique : J.-D. Zucker, durée : 1994-1997

NEUROSAT (Environnement et climat n° 0314) Méthodes neuronales pour la télédétection satellitaire

Responsable scientifique : S. Thiria (LODYC-IPSL, UMPC), P. Gallinari, durée 1996-98, financement 100 kF

Mlnet (ESPRIT III BRA 7115) Network of Excellence in Machine Learning

Responsable scientifique : J.-G. Ganascia, durée : 1992-1996

Université d'Aberdeen (GB), Université d'Amsterdam (NL), ARIAI (AT), Université de Bari (I), Université de Bradford (GB), CEAB (E), Université de Coimbra, CRIM-ERA (F), Université de Dortmund (D), FORTH (G), Université de Frankfurt (D), GMD (D), Université Catholique de Louvain (B), Lubliana AI Labs (Y), Université de Nottingham (GB), Université de Porto (P), Université d'Orsay (F), Université de Pavie (I), Reading University (GB), Université de Savoie (F), Université de Stockholm (S), Université de Tilburg (NL), Université de Turin (I), Trinity College Dublin (IR), Fondation Ufo Bordonni Rome (I), VUB Bruxelles (B), Alcatel Alsthom recherche (F), British Aerospace plc (GB), CSELT Spa (I), Isoft (F), Matra Marconi Space (F), Siemens AG (D)

UPMC-Université d'Amsterdam, Faculté de Psychologie

Responsables scientifiques : J.-G. Ganascia, P. Perny, durée : 1995-1999*

Co-tutelle de thèse de P. Beys

UPMC-Université Vytautas Magnus de Kaunas (Lituanie)

Responsable scientifique : J.-G. Ganascia, durée : 1996-2000

Coopération franco-marocaine (accord CNRS/CNCRST), Faculté des sciences et techniques de Mohammadia (Maroc), Connaissances expertes floues et apprentissage

Responsable scientifique : B. Bouchon. durée : 1996-1998

Visiteurs étrangers

- Amarel Saul, Rutgers University, (oct. 96)
- Giordana Attilio, Dip. Informatica, Université de Turin (janv./mars 97)
- Kreinovich Vladik, Computer Science Departement, University of Texas at El Paso (avril/août 96)
- Ramdani Mohamed, Département d'Informatique, Faculté des Sciences et techniques de Mohammadia, Maroc (avril 96)

- Saitta Lorenza, Dip. Informatica, Université de Turin (janv./mars 97)
- Goldberg David, University of Illinois at Urbana-Champaign, Depart of General Engineering (juin/juil. 98)
- Jordan Michael, MIT, Depart of Brain and Cognitive Sciences (mai/juin 98)
- Yager Ronald, Iona College, Machine Intelligence Institute (juin 98)

Systemes d'aide à la décision et à la formation

Jaffray Jean-Yves

Auzende Odette
Baron Monique
Brézillon Patrick
Chrétienne Philippe
Dubois Olivier
Giroire Hélène
Gonzales Christophe
Hanan Claire
Joab Michelle
Labat Jean-Marc
Leccas Dimitri
Mathieu Jacques
Munier Alix
de La Passardière Brigitte
Perny Patrice
Pomerol Jean-Charles
Tisseau Gérard

Professeur, UPMC
PRAG, Paris II
Maître de Conférences, UPMC
Chargé de Recherche, CNRS
Professeur, UPMC
Chargé de Recherche, CNRS
Maître de Conférences, UPMC
Maître de Conférences, UPMC
Professeur, Paris X
Maître de Conférences, UPMC
Maître de Conférences, HDR, Paris II
Maître de Conférences, UPMC
Maître de Conférences, Rouen
Maître de Conférences, HDR, UPMC
Maître de Conférences, HDR, UPMC
Maître de Conférences, UPMC
Professeur, UPMC
Professeur agrégé de lycée

Personnel temporaire

Borgi Amel
Caetano Herculano
Daddi Moussa Ahmed
Faÿ Armelle
Ghedjati Fatima
Guin Nathalie
Mynard Laurent
Philippe Fabrice

ATER, Reims
Chercheur sous contrat
Post-doc
Post-doc
Post-doc
AMN, UPMC
ATER, Paris 13
PRAG Montpellier 3

Doctorants présents 80% du temps au LIP6

Lahlou Chams (Chrétienne, 95)
Saker Ilham (Brézillon, 95)

Sourd Francis (Chrétienne, 97)
Wuillemin Pierre-Henri (Jaffray, 95)

Doctorants présents moins de 80% du temps au LIP6

Adam Frédéric (Pomerol/Murphy, 95)
Agabra Juliette (Alvarez/Brézillon, 95)
Assadi Housseem (Mathieu, 95)
Beys Pascal (Wielinga/Perny, 95)
Gentile Claudio¹ (Cavalcanti/Brézillon, 95)

Gueguen Laurent (Lebbe/Pomerol, 95)
Henriet Laurent² (Perny, 95)
Monnet Jean-Michel (Bourgine/Pomerol, 95)
Secron Marius¹ (Cavalcanti/Brézillon, 95)

Suite au verso

¹ Doctorants inscrits à l'Université de Rio de Janeiro (Brésil)

² Inscrit en thèse l'Université Paris 9

Associés au LIP6

Alvarez Isabelle
Auban Anne
Barès Michel
Futtersack Michel
Le Goueslier d'Argence Patrick
Minel Jean-Luc
Moinard Claudine
Person Patrick
Picouveau Christophe
Rottembourg Benoît
Vidal Didier
Zaraté Pascale

Chercheur, CEMAGREFF
Maître de Conférences, UPMC
Ingénieur, DGA
Maître de Conférences, Université Paris 5
Chercheur sous contrat
Ingénieur de Recherche, Paris 4, CAMS
Maître de Conférences, Paris VIII
Maître de Conférences, IUT du Havre
Maître de Conférences, CEDRIC, CNAM
Maître de Conférences, ENSTA
Maître de Conférences, UPMC
Maître de Conf., IUT de Sceaux/INP Toulouse

Le thème Systèmes d'Aide à la Décision et à la Formation (SYSDEF) rassemble des chercheurs issus du MASI, du LITP et de différentes équipes du LAFORIA (TRC, Métaconnaissances, MUSTIL). Trois actions de recherche structurent les activités du thème : optimisation et heuristiques, aide à la décision, systèmes d'aide à la formation. Le thème rassemble un nombre important de chercheurs (18 permanents, 19 associés et post-doctorants, 13 doctorants) qui participent souvent à plus d'une action.

Dans l'action *optimisation et heuristiques* se retrouvent des chercheurs issus les uns de l'intelligence artificielle, les autres de la recherche opérationnelle, avec l'objectif commun de fournir des méthodes de résolution approchées à certains problèmes difficiles en optimisation combinatoire. Certains ont jusqu'à présent privilégié un domaine d'application particulier, l'ordonnancement ; d'autres ont travaillé sur l'évaluation de la difficulté des problèmes et la mise en œuvre de principes heuristiques généraux ; les travaux des uns et des autres sont reconnus internationalement. Grâce à une culture largement commune (graphes, algorithmique, complexité), leur collaboration devrait se développer sans difficulté et la complémentarité de leurs expertises devrait avoir des retombées fructueuses. Les problèmes traités provenant directement du monde industriel, où la demande est importante, les collaborations existantes (CNET, SNECMA) devraient s'amplifier.

Les recherches menées au sein de l'action *aide à la décision* procèdent du souci de représenter correctement en machine des situations décisionnelles et d'y apporter des solutions satisfaisantes. Les travaux partent du principe que la représentation des préférences et des croyances comme les processus de décision humains doivent effectuer un compromis entre idéaux normatifs et réalisme cognitif. Le but est donc la réalisation d'outils aussi bien théoriques (modèle de la coopération, mécanismes contextuels) que logiciels (configurateur de connaissances, systèmes d'aide à la décision). De même, les études théoriques en décision multicritère ou dans l'incertain sont à la base de réalisations, en cours, de logiciels (réseaux probabilistes, diagrammes d'influence) et d'applications. Ces recherches sont largement ouvertes sur l'extérieur par le biais de collaborations, nationales avec l'INRIA ou au sein de GDR-PRC du CNRS, internationales et dans l'industrie (RATP, SNCF).

Enfin, un effort important a été fait pour regrouper les chercheurs de Paris 6 qui travaillent sur les *systèmes d'aide à la formation*, afin d'obtenir une meilleure visibilité de ces systèmes et de favoriser les coopérations, l'expérience ayant montré la difficulté à développer des systèmes complets d'EIAO sans équipe de taille suffisante. Ce regroupement récent permet d'ores et déjà de mettre en évidence des réalisations significatives pour la formation professionnelle et la formation initiale. Le thème participe aussi au dispositif de l'UPMC pour la mise en œuvre des nouvelles technologies pour la formation ; ses missions : la recherche et la veille technologique pour le développement de produits pédagogiques, la réalisation de systèmes flexibles de formation et des documents multimedia associés, présentent des convergences importantes et une complémentarité avec nos travaux. Nous comptons tirer parti de notre expérience des systèmes de formation fondés sur la simulation et développer de nouveaux projets sur les simulateurs d'entraînement. Ces recherches sont ouvertes sur l'extérieur par le biais de collaborations au sein du GDR I3 du CNRS et de collaborations industrielles (TTS).

Le thème SYSDEF dispose donc d'un éventail de compétences le mettant en mesure de traiter, de la recherche théorique aux applications industrielles, des problèmes complexes de

décision et de formation. La volonté d'assurer une coopération complète et efficace entre l'utilisateur et la machine sous-tend l'ensemble de nos actions et oriente nos travaux présents et futurs.

Bilan synthétique des recherches

L'évolution de l'informatique, la nature et la complexité croissante des problèmes abordés amènent à concevoir des systèmes intelligents hautement interactifs. Ces systèmes, qu'ils concernent l'aide à la décision ou l'aide à la formation, nécessitent une démarche particulière de conception et d'ingénierie des connaissances, essentielle pour construire et intégrer le modèle de l'utilisateur, le modèle de l'expertise ainsi que le modèle de l'interaction. Le thème privilégié est une démarche qui, au-delà de la réalisation d'applications spécifiques, aboutit à la proposition de méthodes générales de conception des composants de l'aide à l'utilisateur.

L'équipe a une solide expérience en matière d'intégration logicielle, à la fois des modèles cognitifs et des modèles d'interaction et de coopération. Le traitement d'applications en vraie grandeur est une composante essentielle de notre programme de recherche : elles permettent de tester les modèles envisagés.

Optimisation et heuristiques

De nombreux problèmes concrets relevant traditionnellement du domaine de la recherche opérationnelle (RO) tels que certains problèmes d'ordonnancement, d'affectation, de satisfiabilité ou de satisfaction de contraintes se sont révélés être des problèmes "difficiles" pour lesquels la possibilité même d'obtenir des méthodes de résolution exacte devait être mise en doute. La théorie de la complexité fournit des outils puissants permettant de classer les problèmes selon leur difficulté et les algorithmes selon leur efficacité. En revanche, les méthodes de l'intelligence artificielle (IA) conduisent à la découverte d'heuristiques fournissant des solutions approchées. Enfin, en adoptant une approche probabiliste, il est possible aussi bien de prédire l'existence de solutions et identifier les cas favorables à une résolution effective des problèmes de satisfiabilité que de guider la recherche d'algorithmes performants dans les problèmes d'optimisation. Toutes ces techniques sont mises en œuvre dans le cadre de l'action et appliquées à des problèmes combinatoires.

Ph. Chrétienne, C. Hanen, A. Munier et Ch. Picouleau se sont particulièrement intéressés aux problèmes d'ordonnements : ordonnements avec communications, où, les tâches étant exécutées par un réseau de processeurs, aux contraintes classiques viennent s'ajouter les délais de communication ; ordonnements cycliques, rencontrés aussi bien en architectures parallèles qu'en ateliers flexibles, caractérisés par l'existence de tâches génériques exécutées une infinité de fois et où l'objectif est de maximiser la fréquence d'exécution des tâches. Dans les deux cas, ils ont démontré des résultats de complexité et construit des algorithmes approchés avec garantie de performance. Ch. Picouleau et B. Rottembourg se sont également attaqués à d'autres problèmes d'optimisation combinatoire comme le problème du *Bin-Packing* en dimension 2 et le classique problème de Steiner. F. Ghedjati a aussi travaillé sur le problème de l'ordonnement sous la forme du *job shop* généralisé résolu par des heuristiques dynamiques et les algorithmes génétiques.

J.-M. Labat et L. Mynard ont développé des algorithmes intégrant IA et RO, à base d'heuristiques et de méta-heuristiques "dynamiques". Ces algorithmes sont appliqués

également à l'ordonnancement mais aussi aux problèmes d'affectation. L'algorithme général HOLSA (Mynard, 1998) testé sur le problème du sac à dos multidimensionnel a donné des résultats très probants (en temps et en valeur trouvée) par rapport à des algorithmes de recherche locale comme TABOU ou le Recuit Simulé (Labat et al., 1997). Dans le même esprit, M. Futersack travaille sur des heuristiques sur les taquins de grande dimension.

O. Dubois et Y. Boufkhad (doctorant au LIP6 jusqu'en sept. 97) se sont attaqués à un problème représentant une classe importante de problèmes en IA : la recherche d'un modèle de formule propositionnelle. Ce problème intervient fréquemment sous diverses formes dans les systèmes d'aide et d'assistance intelligents. Il est essentiel d'améliorer l'efficacité des méthodes de résolution très coûteuses en temps de calcul. Les recherches menées autour du problème SAT concernent aussi bien des méthodes exactes efficaces que des méthodes probabilistes permettant de réaliser des sauts de complexité. L'approche est à la fois expérimentale et théorique, les chercheurs concernés essayant de se servir de l'une pour étayer l'autre. La méthode développée a actuellement les meilleures performances et a montré son efficacité sur d'autres problèmes tels que la reconstruction d'image à partir de projections, la construction de polyominos. Un modèle générique, Hyper-Implicant, a permis de proposer une méthode de compilation de bases de connaissances donnant un gain de temps exponentiel dans l'interrogation de ces bases.

Aide à la décision

L'objectif de P. Brézillon est de faciliter les interactions entre un utilisateur et une machine au cours de la résolution d'une tâche. L'élément central d'un système d'assistance intelligent est la coopération homme-machine à travers l'intégration des explications, du dialogue, de l'acquisition incrémentale de connaissances et de la prise en compte explicite du contexte de la coopération. Ces dernières années, il s'est particulièrement attaché à définir la notion de contexte pour les Systèmes d'Assistance Intelligents basés sur le Contexte (SAIC).

M. Joab travaille sur l'intégration, dans un modèle de dialogue, des concepts de l'explication de la négociation et de l'argumentation. L'objectif est de transposer les principales fonctions du dialogue en langue naturelle dans une interface graphique interactive. Une première réalisation informatique permet d'évaluer l'ergonomie d'une telle interface (Joab et al., 1999, à paraître).

Dans le cadre des SAIC, les recherches de P. Brézillon et J.-Ch. Pomerol ont été plus particulièrement centrées sur l'architecture générale de ces systèmes avec une attention particulière sur le rôle du contexte, sa modélisation et sa représentation en machine. Ces recherches ont fait l'objet de plusieurs applications pour la RATP (thèses en cours de I. Saker, C. Gentile et M. Secron) et en œnologie (thèse en cours de J. Agabra). Les obstacles à l'utilisation des systèmes d'aide à la décision et des systèmes coopératifs ont été analysés en s'appuyant sur leur expérience dans le domaine des systèmes à base de connaissances. Ces recherches confirment la nécessité de maîtriser le contexte et d'étudier les flux réels de décision dans les organisations (thèse de F. Adam). Ces idées ont été diffusées dans la communauté par (Brézillon et al., 1998a, 1998b).

Les systèmes d'aide à la décision reposent sur une modélisation des préférences et des croyances. Des recherches théoriques sur les représentations mono et multicritères des préférences, sur les modèles cognitifs liés aux processus de décision et sur la modélisation du contexte sont en cours. D'autres travaux portent aussi sur les problèmes posés par la représentation de l'incertitude et de l'imprécision. Les résultats de ces recherches théoriques sont utilisés dans les modèles d'aide à la décision développés au sein du thème.

Autour de J.-Y. Jaffray et de P. Perny, se sont poursuivies des recherches en modélisation des connaissances, des préférences et des croyances, dans un but d'aide à la décision,

corrélativement au développement de techniques permettant l'utilisation pratique de ces modèles. En décision dans l'incertain, J.-Y. Jaffray et F. Philippe se sont intéressés aux difficultés posées par l'évaluation des probabilités subjectives et ont analysé les possibilités offertes par la représentation moins exigeante des croyances sur les événements par des intervalles de probabilité. Ils ont justifié axiomatiquement une famille de critères adaptés à cette représentation. De leur côté, J.-Ch. Pomerol et P. Brézillon se sont intéressés à la pratique de la décision à l'aide de scénarios et en particulier à l'utilité du contexte pour la maîtrise de l'explosion combinatoire.

Une autre difficulté est qu'à un certain niveau d'analyse, le comportement décisionnel apparaît comme la résultante de plusieurs critères en conflit. P. Perny a élaboré de nouveaux modèles permettant d'appréhender plus finement les préférences et le vague qui les entoure, de concevoir de nouvelles procédures et algorithmes permettant d'exploiter l'information préférentielle, enfin de réaliser des systèmes de sélection, de classement, de tri ou d'affectation multicritère.

P. Perny a de plus mené des études plus théoriques sur les problèmes soulevés par la décision et l'agrégation de préférences. En effet, la nécessité de justifier et valider le choix d'opérateurs d'agrégation, de procédures de sélection ou de rangement, de justifier le codage numérique de l'information et son utilisation, implique un travail fondamental de nature axiomatique : spécification d'une liste de propriétés jugées souhaitables pour la méthode et examen des solutions possibles.

Le traitement probabiliste de l'incertitude a été récemment bouleversé par l'apparition de techniques de calcul s'appuyant sur une représentation graphique de l'interdépendance entre variables aléatoires : la théorie des réseaux probabilistes ou réseaux bayésiens. Ces techniques sont susceptibles d'améliorations et d'extensions, soit à un cadre non-probabiliste, soit à un contexte décisionnel (diagrammes d'influence). Autour de J.-Y. Jaffray ont été entamées des recherches théoriques dans ce domaine, qui ont permis de proposer de nouveaux algorithmes de propagation de l'information. De plus, une librairie de programmes, MoByDiCk, outil indispensable aux recherches futures, est en cours de réalisation.

Systèmes d'aide à la formation

Les systèmes d'aide à la formation, souvent appelés EIAO (environnements interactifs d'apprentissage avec ordinateur), sont des systèmes interactifs destinés à favoriser des apprentissages chez leurs utilisateurs. Les "apprenants" sont placés généralement en situation active de résolution de problèmes, tout en étant guidés et contrôlés à des degrés divers par le système. L'ingénierie des connaissances propre à l'EIAO comporte la modélisation du domaine et de la tâche cible, de l'apprenant, de l'interaction et de l'explication ainsi que l'intégration de ces différents modèles. Les difficultés tiennent en grande partie à la quantité des connaissances et des métaconnaissances mises en jeu et à leur diversité, ainsi qu'à la qualité nécessaire de l'interaction homme-machine et des interfaces. La validation des modèles et des systèmes réalisés est un point délicat qui nécessite une coopération pluridisciplinaire notamment avec la psychologie et l'ergonomie cognitives, les didactiques et les sciences de l'éducation.

Les recherches portent sur les différents aspects de modélisation dans le cadre de projets " complets " en formation professionnelle et en formation initiale. Elles visent en particulier les environnements fondés sur la simulation où la dynamique d'un dispositif temps réel augmente la difficulté du suivi de l'utilisateur.

Le projet DIAPASON (M. Joab, O. Auzende, C. Moinard, en collaboration avec la Direction des Études et Recherches d'EDF) a permis de développer un environnement complet de

formation fondé sur la simulation pour les chargés de conduite du réseau électrique moyenne tension. L'explication est construite en fonction des actions du stagiaire et de l'évolution du dispositif industriel simulé. Cette recherche aboutit à une méthode de conception d'explications dynamiques. L'évaluation porte non seulement sur les performances mais surtout analyse de manière critique la démarche du stagiaire ; pour cela elle s'appuie sur la comparaison avec une résolution de référence construite par un résolveur dynamique et paramétrable, couplé à un simulateur du dispositif. L'Évaluateur pilote ce résolveur pour suivre le stagiaire dans sa résolution, même après une erreur, et produit l'évaluation au fur et à mesure de la résolution du stagiaire. Grâce aux méthodes de conception développées, la démarche de conception de l'explication et de l'évaluation est réutilisable pour d'autres systèmes de formation professionnelle.

Un nouveau projet industriel en collaboration avec Thomson Training & Simulation a débuté en décembre 1997. Ce projet, d'une durée d'un an, a pour but de développer un système d'aide à l'instructeur pour un simulateur d'entraînement destiné à l'équipage du char Leclerc. Il s'agit de réaliser essentiellement deux fonctions d'aide à l'instructeur : à court terme (pour 1998) un générateur d'exercices et à moyen terme une évaluation du stagiaire.

H. Caetano et J. Mathieu ont développé des systèmes de formation fondés sur la simulation pour la prise de décision en situation de crise : SAGESSE destiné aux officiers de la sécurité civile, FORMENTOR, pour la formation à la conduite et à la prise de décision en cas d'incidents, de processus industriels complexes tels que le remplissage en combustible d'un satellite lors de son lancement, et INTEMPERIES pour l'analyse des catastrophes naturelles.

H. Giroire, G. Tisseau et N. Guin travaillent sur le projet COMBIEN ?, un EIAO dans le domaine des dénombrements. Le tutoriel est fondé sur la méthode constructive de dénombrement qui consiste à concevoir une définition de l'ensemble à dénombrer qui puisse être interprétée comme un algorithme de génération des éléments de cet ensemble, puis à raisonner sur cet algorithme au niveau "méta", sans l'exécuter. L'objectif du tutoriel est de faire acquérir cette méthode. Le système réalisé permet l'introduction d'énoncés formalisés des exercices, de définitions constructives, et d'autre part la mise en œuvre de ces constructions pour trouver la solution et la vérification de la validité de ces constructions. Il utilise un résolveur (SYRCLAD) basé sur la classification des problèmes. N. Guin a conçu et réalisé une architecture de système de résolution de problèmes, indépendante du domaine d'application et qui permet d'utiliser des connaissances organisées autour d'une classification des problèmes du domaine. Cette approche est originale car elle sépare explicitement les connaissances destinées à reformuler et classer les problèmes d'une part, et celles destinées à les résoudre, d'autre part. Le résolveur SYRCLAD a été utilisé dans quatre domaines différents. Parallèlement, des maquettes d'interface correspondant à différents styles d'expressions ont été expérimentées. Un générateur d'interfaces construit ces maquettes d'après une spécification déclarative du modèle conceptuel.

Sur le thème de la modélisation d'apprenant et du diagnostic cognitif, M. Baron a poursuivi l'étude de plusieurs approches de représentation et de traitement de "connaissances imparfaites" (logiques de connaissance et de croyance, logiques non monotones, formalisation de raisonnements révisables, systèmes de maintien de cohérence, révision). Les modèles de croyances ont été appliqués dans le cadre d'un environnement d'apprentissage collaboratif, où deux apprenants communiquent à distance, dans le cadre du projet CHENE (en collaboration avec M. Baker et K. Lund).

Au sein du groupe de travail interdisciplinaire PROVERB de l'ARC (Association pour la Recherche Cognitive), J.-M. Labat et J.-Ch. Pomerol travaillent sur la modélisation cognitive d'un humain engagé dans une tâche de résolution de problèmes. Ils développent plusieurs

modèles de résolution, simulant à différents niveaux le comportement du sujet. Les modèles sont construits à partir de l'analyse psycho-linguistique de protocoles verbaux.

Les hypermédias et le multimédia grâce à leurs facilités d'accès aux connaissances et à leur souplesse de présentation contribuent à une meilleure adéquation de l'interface à l'apprenant. B. de La Passardière conçoit et réalise des outils d'aide à la navigation pour les spécialistes d'un domaine s'initiant à un nouveau système " complexe " ou pour des utilisateurs " naïfs " (Projet PROFIL).

Bilan détaillé des recherches

Optimisation et heuristiques

P. D'ARGENCE, PH. CHRÉTIENNE, A. DADDI-MOUSSA, O. DUBOIS, M. FUTTERSACK, F. GHEDJATI, CL. HANEN, J.-M. LABAT, CH. LAHLOU, L. MYNARD, A. MUNIER, CH. PICOULEAU, J.-CH. POMEROL, B. ROTTEMBOURG, F. SOURD

Ordonnancements

Ordonnements avec communications

Lorsque les tâches d'un problème d'ordonnement sont exécutées par un réseau de processeurs, aux contraintes classiques viennent s'ajouter les délais de communication. Ainsi une tâche devra attendre que toutes les données qui lui sont nécessaires soient parvenues au processeur qui lui est alloué.

Ch. Picoueau s'est intéressé aux problèmes dans lesquels les durées d'exécution des tâches et les durées de transferts de messages entre processeurs sont unitaires. Plusieurs résultats de complexité ont été démontrés pour des problèmes où, en plus des différents paramètres classiques (nombre de processeurs et structure du graphe de précedence), la topologie du réseau de processeurs et le mode de communication sont aussi des paramètres.

Ch. Lahlou a développé un algorithme de liste pour m processeurs en anneau : il a montré que si m est impair, la performance de cet algorithme est bornée par $1+(3m/8)-(1/2m)$ (Lahlou, 1996). Il a également étudié l'impact des modes de communication sur la complexité des problèmes d'ordonnement et a ainsi pu classer de nombreux problèmes nouveaux. Dans sa recherche d'algorithmes d'approximation avec garanties, il a mis en évidence un problème fondamental : la minimisation du nombre de communications pour un makespan donné dans un problème classique où une communication est comptée pour chaque couple de tâches directement dépendantes exécutées par des processeurs distincts. Ayant développé un algorithme offrant la garantie 2 pour le cas particulier de ce problème où le graphe de précedence est une arborescence, il a pu en déduire un algorithme offrant la garantie 6 pour une arborescence à effectuer sur un bus avec des durées et des communications unitaires.

Pour les problèmes à temps de communication, la duplication permet d'obtenir des ordonnancements plus courts : le problème est alors de limiter le nombre de duplicata pour obtenir un ordonnancement implémentable. Une solution est d'imposer un nombre limité de processeurs. A. Munier et C. Hanen ont développé un nouvel algorithme de liste avec duplication sur m processeurs pour des tâches et des communications unitaires. Elles ont montré (Munier et al., 1997) que sa performance relative est $2-2/m$, soit la même valeur que pour une liste quelconque sans temps de communication.

Tous les algorithmes approchés développés pour les problèmes à temps de communication ont une performance relative qui augmente de manière linéaire en fonction du rapport maximum r entre les durées des temps de communication et les durées des tâches. Ces performances sont alors non bornées pour des grands temps de communication ($r > 1$). A. Munier a développé un algorithme approché de performance relative $1 + (1 - 1/m)(2 - (1/(1+r)))$ pour une arborescence sans limitation du nombre de processeurs (Munier, 1997). Pour une arborescence et un nombre limité de processeurs, elle en a déduit une solution approchée de performance $2 - 1/(1+r)$.

A. Daddi Moussa a développé dans sa thèse une méthode exacte de type *Branch and Bound* pour le problème à m machines identiques et temps de communication quelconque. Cet outil, utilisé sur un plan d'expérience suffisamment large, a permis de mieux comprendre la structure des instances difficiles de ce problème.

L. Gélinau a travaillé sur un problème d'ordonnancement pour lequel les communications entre tâches nécessitent une diffusion des messages sur l'ensemble du réseau. Elle a modélisé ce problème, a obtenu des propriétés de structure et de complexité pour certains cas particuliers et a conçu, développé et comparé des heuristiques pour la résolution du cas général (Gélinau, 1996).

Ordonnements cycliques

Un problème d'ordonnancement cyclique est caractérisé par un ensemble de tâches génériques que l'on exécute une infinité de fois. L'objectif est la maximisation de la fréquence d'exécution des tâches. Ces problèmes ont d'importantes applications aussi bien dans le domaine des architectures parallèles (boucles vectorielles) que dans celui des ateliers flexibles (production en série).

A. Munier a travaillé en collaboration avec A. Giannakos et J.-C. König (LAMI, Université d'Evry) sur les problèmes d'ordonnancement cycliques à temps de communication. Ils ont généralisé au cas cyclique un algorithme approché développé par A. Munier et J.-C. König (Munier et al., 1997) et ont montré que sa performance relative était de $1 + r/(2+r)$ pour des petits délais de communication ($r < 1$).

Ph. Chrétienne a étudié les ordonnancements de liste pour les problèmes cycliques à m machines identiques et tâches non réentrantes. Après en avoir donné une définition générale, il a montré que pour un ordonnancement quelconque de cette classe, le rapport du temps de cycle moyen de l'ordonnancement au temps de cycle minimum absolu est inférieur à $2 - 1/m$. Il a montré que les ordonnancements de liste K -périodiques correspondent aux ordres linéaires K -périodiques et a fourni une condition suffisante pour que la garantie de performance d'un algorithme de liste pour un problème non cyclique soit conservée par sa version cyclique. L'extension de la liste de Coffman pour le problème *Unit Execution Time* fournit donc en particulier un ordonnancement cyclique optimal pour deux machines et offre la garantie $2 - 2/m$ pour m machines (Chrétienne, 1996). En 1997, Ph. Chrétienne a étudié le problème plus général où la réentrance des tâches est permise. Il a montré qu'un algorithme de liste quelconque offre une garantie $2 - (K^*/m)$ où $K^* = \text{Min}(H^*, m)$ et H^* est la hauteur minimale d'un circuit du graphe réduit.

P. Le Goueslier d'Argence a étudié les problèmes d'ordonnancement liés aux systèmes d'équations de récurrence. Ils peuvent par exemple modéliser un algorithme systolique ou encore des nids de boucles à paralléliser. Il a déterminé divers sous-problèmes polynomiaux avec et sans contraintes de ressource (graphes sans circuit, nombre limité de processeurs et contraintes positives). Il a ensuite défini un ordonnancement affine par morceaux dont il a établi l'optimalité asymptotique (d'Argence, 1996).

Job-Shop généralisé

F. Ghedjati a montré l'efficacité des heuristiques dynamiques et, au contraire, les performances relativement faibles des algorithmes génétiques sur des classes de problèmes très généraux, sans précedence linéaire et de grande taille. Approfondissant ces travaux, F. Ghedjati et J.-Ch. Pomerol (Ghedjati et al., 1998) ont proposé une méta-heuristique génétique pour la résolution du Job-Shop généralisé.

F. Sourd étudie dans sa thèse le problème du job-shop avec temps de set-up. Il a mis au point et testé différentes heuristiques et travaille actuellement sur la recherche de bonnes bornes inférieures adaptées à ce problème.

Autres problèmes d'optimisation combinatoire

Concernant le problème de Bin-Packing en dimension 2, Ch. Picouleau a développé une heuristique avec garantie relative de performance pour le problème consistant à placer sans recouvrement un ensemble donné de carrés dans un carré de côté minimal (Picouleau, 1996).

Pour le problème de Steiner, un des problèmes de base de l'optimisation combinatoire, B. Rottembourg et C. Helleu ont conçu un algorithme d'approximation fournissant la garantie $6/5$ dans le cas particulier où les arêtes ont pour valeur un ou deux (Rottembourg, 1996).

Dans le cadre d'une convention avec le CNET, P. Le Goueslier d'Argence a travaillé après sa thèse sur le problème des réservations temporaires de liaisons haut-débit dans un réseau de télécommunications. A cet effet, il a en particulier développé et testé une méthode TABOU permettant d'affecter un ensemble donné de réservations.

F. Sourd a travaillé en collaboration avec l'Observatoire de Meudon sur le problème de l'affectation de fibres optiques d'un télescope aux objets d'un champ céleste. Il a mis au point une famille d'heuristiques qui ont permis de réaliser un progrès très significatif sur la taille et la qualité des solutions obtenues. De portée suffisamment générale, ces heuristiques ont ensuite été adaptées et testées sur le problème d'ordonnement de tâches non préemptives indépendantes sur des machines distinctes où la durée d'exécution d'une tâche dépend de la machine sur laquelle elle est exécutée.

Modèles de formules propositionnelles

Heuristiques probabilistes

Pour accélérer la recherche algorithmique de modèles d'une formule propositionnelle, O. Dubois et Y. Boufkhad mettent au point des heuristiques en fonction de critères probabilistes. Considérant des espaces probabilistes bien définis, ils ont établi des fonctions qui indiquent au cours de la recherche algorithmique d'une interprétation, les variables propositionnelles à interpréter et l'interprétation à donner à ces variables. Ces heuristiques ont été implémentées dans un programme de résolution C-SAT. Afin que ces heuristiques puissent être efficaces sur le plus grand nombre de formules, des pré-traitements ont été intégrés dans C-SAT qui transforment et réduisent une formule de manière à la rendre la plus proche possible des conditions d'application correspondant aux espaces probabilistes étudiés. Lors d'une compétition internationale, C-SAT s'est révélé avoir de loin les meilleures performances sur tout type de formules propositionnelles (Dubois et al., 1996).

Estimation de la difficulté des formules

Pour les applications réelles, il est essentiel de pouvoir estimer la difficulté de résolution selon les types de formules à traiter de manière à savoir si les temps de calculs seront raisonnables. O. Dubois et Y. Boufkhad ont mis en évidence expérimentalement des phénomènes de seuil au-delà desquels il n'existe presque sûrement plus de modèle. Ces seuils caractérisent les formules les plus difficiles. Ils ont de cette manière, isolé des paramètres structurels (équilibrage des signes et des occurrences des variables ...) qui déterminent de façon majeure pour certains, de façon mineure pour d'autres, la difficulté des formules. Pour ces raisons, la détermination de la valeur exacte des seuils fait l'objet d'intenses recherches. Ils ont établi la meilleure borne supérieure actuelle du seuil pour les formules de référence ayant des clauses de longueur constante (Dubois et al., 1997a). O. Dubois et Y. Boufkhad ont de plus montré pour ces formules, que contrairement à l'intuition, la difficulté de résolution ne venait pas de l'extrême rareté des modèles, ceux-ci sont en nombre exponentiel dans presque toute formule et nous en avons donné une borne inférieure (Dubois et al., 1997b). Ce résultat pousse à rechercher des modèles génériques représentant chacun un nombre exponentiel de modèles ordinaires. Nous en avons défini deux, l'un appelé NPS (Negatively Prime Solution) qui a permis précisément d'obtenir la borne mentionnée ci-dessus, l'autre Hyper-Implicant qui permet de compiler efficacement des Bases de Connaissances (voir applications) (Boufkhad et al., 1997).

Applications

– Compilation de Bases de Connaissances.

Y. Boufkhad a proposé une méthode de décomposition de Bases de Connaissances en Hyper-Implicants. Il a montré expérimentalement que cette décomposition permet d'obtenir un gain de temps de nature exponentielle dans l'interrogation des bases (Boufkhad et al., 1997).

Un codage a été mis au point sous la forme d'une formule propositionnelle pour les problèmes suivants :

– Construction de polyominos à partir de vecteurs orthogonaux avec des marges de tolérance (intervient dans la modélisation de phénomènes naturels tels que feux de forêts, assèchement de marais...) (article en cours de rédaction)

– Reconstruction d'images à partir de quatre projections (problème des images obtenues par scanner)

– Étant donné un ensemble de préférences, détermination d'un sous-ensemble maximal de préférences satisfaisant la transitivité (problème intervenant dans le problème de décision multicritère).

Pour les deux premiers problèmes, des expérimentations ont montré que les performances de résolution avec C-SAT ou un algorithme dérivé de C-SAT adapté au problème, ont été nettement supérieures comparées à celles de méthodes de résolution spécifiques. Pour le troisième problème, des expérimentations sont en cours.

Méthodes heuristiques de recherche dans les graphes.

Un nouvel algorithme nommé HOLSA —Heuristic Oscillating Local Search Algorithm— mêlant une recherche locale à pas variable, une oscillation entre éléments intérieurs et éléments extérieurs au domaine et une évaluation des nœuds de type A* a été développé dans le cadre de la thèse de L. Mynard (Mynard, 1998). Cet algorithme, testé sur le problème du sac à dos multidimensionnel donne des résultats très probants. Comparé à

Cplex, un logiciel commercialisé basé sur le couplage d'un simplexe avec un *Branch and Bound* qui trouve les solutions exactes, HOLSA trouve des solutions approchées avec un écart de moins de 1% en mettant vingt fois moins de temps (Mynard, 1996, Labat et al., 1997). Sur les plus gros problèmes, si on met une limite de temps à Cplex, HOLSA est en moyenne meilleur en temps et en valeur de la solution. Comparé à des algorithmes de recherche locale comme TABOU ou Recuit Simulé, HOLSA est à la fois meilleur en temps et en valeur de la solution trouvée. Il permet également de résoudre des problèmes d'optimisation non linéaires à variables entières (non limitées aux valeurs 0 et 1). J.-M. Labat et L. Mynard travaillent également sur la distinction entre heuristique et métaheuristique (Labat et al., 1997) et sur l'analyse des principes, des avantages et des inconvénients des algorithmes de recherche locale (Mynard et al., 1997).

Aide à la décision

F. ADAM, J. AGABRA, I. ALVAREZ, P. BREZILLON, A. FAÏ, C. GENTILE, CH. GONZALES, F. GHEDJATI, L. HENRIET, J.-Y. JAFFRAY, M. JOAB, D. LECCAS, P. PERNY, P. PERSON, J.-CH. POMEROL, I. SAKER, M. SECRON, P.-H. WUILLEMIN

Systèmes d'assistance intelligents et SIAD

Explication

P. Brézillon a montré que l'explication fait partie intégrante de toute résolution coopérative de problème par l'homme et la machine. Dans cette optique, un système doit expliquer à l'utilisateur, mais aussi être capable d'accepter des explications de la part de l'utilisateur. Une conséquence est qu'un système ne peut apporter une aide efficace que s'il peut acquérir incrémentalement au cours de la résolution de problème des connaissances opératoires avec leur contexte d'utilisation.

M. Joab mène des recherches sur l'explication et le dialogue dans le cadre du groupe GENE. Le groupe de recherche GENE (Génération d'Explications Négociées) a été financé par le PRC GDR Intelligence Artificielle entre 1992 et 1997. C'est un petit groupe de travail finalisé, formé de sept chercheurs. Outre ses propres travaux, GENE a contribué à l'animation scientifique de la communauté "Explication". Dans le prolongement de l'atelier de recherche avec appel à communications sur la modélisation des dialogues explicatifs organisé en décembre 1994 à l'ENST (Paris), le groupe GENE édite un numéro spécial (n° 9-10) de la revue "Psychologies de l'Interaction" (L'Harmattan, Paris) à paraître en février 1999. M. Joab a organisé les journées Explication'96.

Les travaux en cours du groupe GENE portent sur le transfert de certaines fonctions du dialogue explicatif à la spécification d'une interface graphique interactive. Ces travaux sont appliqués à la conception d'une interface de validation d'un diagnostic médical (Baker et al., 1996a, 1996b, 1997).

En relation avec le projet GENE, dans le cadre d'une collaboration avec C. Rossari du Département de Linguistique de l'université de Genève, M. Joab a analysé la contribution de l'analyse hiérarchique et fonctionnelle issue des travaux de l'école de Genève à la reconnaissance des séquences explicatives dans le dialogue. A partir d'une expertise linguistique, une base de connaissances pour structurer dynamiquement le dialogue a émergé. Cette base est activée par un algorithme de structuration qui retarde certains choix pour éviter de reconstruire la structure du dialogue ou de gérer en parallèle plusieurs hypothèses. A l'heure actuelle, la base de connaissances a été implantée dans un module de gestion de dialogue homme-machine (Joab et al., 1999).

Contexte

La nécessité de modéliser le contexte en vue de son implémentation dans les logiciels est maintenant largement reconnue. P. Brézillon a fortement contribué, à partir de 1993, à l'émergence de ce thème par plus de vingt publications, des conférences invitées, l'organisation de deux ateliers à l'IJCAI et de la conférence internationale et interdisciplinaire CONTEXT-97. Il prépare CONTEXT-99 (Trento, Italie). Des rapports sur ces manifestations ont été publiés (Brézillon, 1997a). Après sa prospection bibliographique des années précédentes, P. Brézillon a commencé à travailler à partir d'applications dans des domaines aussi différents que l'aide à la régulation de trafic pour la RATP, la prédiction d'arrêt de fermentation en œnologie, et l'aide à la rédaction de requêtes pour l'interrogation de bases de données. Il a montré que l'explicitation du contexte joue un rôle central dans la génération d'explications pertinentes et l'acquisition incrémentale de connaissances, éléments intrinsèques de toute coopération. Il a aussi montré qu'il existe différents types de contexte selon que l'on travaille au niveau de la représentation des connaissances, des mécanismes de raisonnement ou des interactions entre un système et un utilisateur. Ces résultats ont fait l'objet de publications dans des journaux et des actes de conférences (Brézillon, 1997, Brézillon et al. 1997a, 1997b) et sont en cours d'implémentation industrielle.

Problèmes d'utilisation des systèmes coopératifs et des SIAD

P. Brézillon et J.-Ch. Pomerol ont analysé les principes utilisés par les concepteurs de systèmes d'aide à la décision, des "*joint cognitive systems*" et des systèmes coopératifs ; ces travaux ont fait l'objet de plusieurs publications. La principale leçon tirée est que ces trois approches ont beaucoup de points communs et qu'elles butent toutes les trois sur la notion de coopération homme-machine : un système interactif doit se comporter comme un assistant intelligent et non comme un expert. Cette comparaison a permis de mettre en évidence, d'une part, qu'une réelle coopération entre un homme et une machine n'est possible que si le contexte de la coopération est explicité, et, d'autre part, que le contexte concerne plus les liens entre les concepts que les concepts eux-mêmes. Ce dernier point donne un nouvel éclairage sur la prise de décision où, bien souvent, c'est dans le choix de l'association des facteurs que le contexte joue un rôle déterminant.

L'introduction de critères multiples dans la décision apparaît de plus en plus indispensable. Un système, exemplaire de ce point de vue, a été réalisé pour simuler les décisions des régulateurs de la SNCF. Il permet, pour la première fois, de faire une évaluation multicritère des investissements ferroviaires selon le point de vue des voyageurs. A notre connaissance, un seul autre système intelligent a été conçu pour prendre des décisions de régulation (affectation des trains en cas d'incidents) (Komaya et al., 1988). Ce système qui avait fait l'objet d'investissements importants par Mitsubishi, ne semble pas avoir été utilisé. Notre système est actuellement utilisé par la SNCF pour évaluer les investissements et les grilles d'horaires.

Pratique et théorie de la décision

Récemment, J.-Ch. Pomerol a entrepris une réflexion sur les moyens utilisés par les décideurs réels pour échapper à l'explosion combinatoire lors d'un raisonnement à base de scénarios (Pomerol, 1998). L'utilisation de connaissances contextuelles semble être un de ces moyens (Brézillon et al., 1998). La thèse de M. Monnet est consacrée à une formalisation de la décision par analogie (Case-Based Reasoning et décision) (Monnet et al., 1998).

Modélisation des connaissances, des préférences et des croyances

Aide à la décision dans l'incertain

En incertain probabilisé, un réseau bayésien (ou réseau probabiliste) décrit une décomposition de la loi jointe d'un ensemble de variables aléatoires, qui conduit à un calcul particulièrement simple des probabilités conditionnelles à l'information lorsque le graphe ne comporte pas de cycles (algorithme de Kim et Pearl). Nous avons proposé deux extensions de cette méthode au cas de graphes comportant des cycles : la méthode des messages paramétrés (P. Person) et une méthode coupe-cycles (Faÿ et al., 1998a, Faÿ, 1997). Une meilleure gestion des messages informatifs a été proposée dans (Faÿ et al., 1998b). Par ailleurs, P.-H. Willemin et P. Person ont entrepris la réalisation de MoByDiCk, librairie graphique complète de gestion de graphes, réseaux probabilistes et diagrammes d'influence. Cette librairie, tout en permettant de traiter des applications, servira de banc d'essai aux recherches théoriques (simulation, comparaison d'algorithmes). La partie *graphes* est déjà opérationnelle et à la disposition du laboratoire pour toute recherche ou application de théorie des graphes ; la construction d'un réseau probabiliste l'est aussi et un algorithme de propagation d'information dans le réseau est disponible.

En environnement incertain, l'utilisation de probabilités subjectives (justifiable par des arguments théoriques) se heurte à des difficultés pratiques d'évaluations contradictoires. Avec E. Karni (de Johns-Hopkins), J.-Y. Jaffray a montré que l'on pouvait contourner les problèmes résultant de l'observabilité des dotations initiales (Jaffray et al., 1997). J.-Y. Jaffray et F. Philippe ont expliqué ces contradictions d'abord dans le cadre du modèle de l'utilité dépendant du rang, ensuite dans celui de la *Prospect theory* de Kahneman et Tversky, par l'existence de probabilités inférieures/supérieures subjectives et donné des caractérisations de cette existence (Jaffray et al., 1997, Philippe, 1997).

Divers problèmes, tels que l'interrogation efficace d'une base de données, posent les questions liées de l'évaluation du degré d'incertitude d'une situation et de l'information apportée par un questionnaire. La théorie de l'information a su y répondre dans un cadre probabiliste à l'aide de l'entropie de Shannon (ou autres). J.-Y. Jaffray a montré comment dans le cadre probabiliste imprécis précédent (probabilités inférieures/supérieures) ces évaluations se ramènent à la résolution de programmes convexes (pour le critère du plus mauvais cas) et proposé des algorithmes adaptés (Jaffray, 1997).

L'information consistant parfois uniquement en données fréquentistes imprécises (c'est le cas quand elle est extraite de bases de données), il était intéressant de chercher à construire un modèle de décision adapté à ce cas ; nous avons justifié axiomatiquement un type de critère intégrant de façon simple les facteurs naturels : fréquences des résultats, plus mauvais et meilleur résultats possibles et taille de l'échantillon (Gonzales et al., 1997).

Modélisation des préférences

En aide à la décision, la modélisation des préférences peut être plus ou moins complète et plus ou moins explicite ; c'est toujours une étape essentielle et délicate, présentant de nombreuses difficultés théoriques et pratiques ; nous nous sommes attaqués à plusieurs d'entre elles.

a) Utilités additives

La représentation classique des préférences se fait à l'aide de fonctions d'utilités, difficiles à construire, car fonctions d'autant de variables qu'il y a d'attributs ; on cherche donc à justifier des formes simples ; les théorèmes d'existence d'utilités additives, comme les procédés de construction qui en dérivent, reposaient jusqu'à présent sur des hypothèses de

solvabilité qui ne sont plus vérifiées dès que certaines des variables sont discrètes. Ch. Gonzales est parvenu à étendre suffisamment ces résultats pour que la plupart des variables puissent être discrètes, ce qui, d'un point de vue pratique, agrandit considérablement le champ des applications (Ch. Gonzales, 1996a, 1996b)

b) Représentation de connaissances imparfaites

La plupart des problèmes impliquant décision s'inscrivent dans un environnement particulièrement complexe, du fait de la difficulté de percevoir et d'évaluer correctement les multiples conséquences des alternatives possibles, de la difficulté à comparer ces alternatives sur la base d'évaluations imparfaites. Ce constat montre l'intérêt des formalismes logiques permettant de représenter et manipuler une information préférentielle vague, imprécise et/ou incertaine. P. Perny, en collaboration avec J. Fodor et M. Roubens, a utilisé la théorie des ensembles flous et les logiques multivalentes associées pour proposer des modèles plus fins de l'information préférentielle (Fodor et al., 1997 ; Perny et Roubens, 1997 ; Perny, 1997).

Aide à la décision multicritère

a) Étude et caractérisation axiomatique de procédures d'agrégation multicritères

Le problème de l'agrégation multicritère consiste à synthétiser de façon cohérente des informations provenant de sources diverses ou traduisant des points de vues différents et parfois conflictuels au sujet d'un même ensemble d'objets. Cette étape est essentielle en analyse multicritère puisqu'elle permet de passer d'un modèle multidimensionnel des préférences à un modèle synthétique des préférences globales. L'étude théorique du choix des opérateurs d'agrégation est également indispensable pour la fusion de capteurs et la reconnaissances des formes à partir de plusieurs sources d'information. Les recherches sur l'agrégation poursuivent deux objectifs :

- exploiter les résultats issus de travaux sur les équations fonctionnelles pour discuter et justifier théoriquement le choix d'opérateurs d'agrégation (Fodor et al., 1997) ;
- analyser de manière axiomatique les mécanismes d'agrégation de relations de préférences pour mieux caractériser le comportement des procédures d'agrégation (Fodor et al., 1997).

Ces travaux de nature théorique permettent de mettre à jour et de comprendre les difficultés qui surviennent lorsqu'on cherche à obtenir une synthèse cohérente d'informations conflictuelles.

b) Conception de nouvelles procédures multicritères et leur mise en œuvre au sein d'applications réelles.

Nous avons conçu et testé des procédures multicritères pour répondre à différents types de problèmes posés :

- une procédure interactive d'optimisation multicritère sur un ensemble continu pour permettre à un décideur ou à un groupe d'experts une exploration semi-dirigée et efficace de l'espace des solutions (Perny et Vanderpooten, 1998) ;
- des procédures de choix ou de classement multicritère basées sur l'exploitation de relations de préférences floues (Fodor et al., 1997) ;
- une procédure de rangement basées sur l'élaboration d'un ordre d'intervalles reflétant l'imprécision des données ;
- des procédures de filtrage et d'affectation multicritère graduelle d'objets à des catégories (Perny, 1997, Henriot et al., 1997).

Systèmes d'aide à la formation

O. AUZENDE, M. BARON, H. CAETANO, M. FUTTERSACK, H. GIROIRE, N. GUIN, M. JOAB, J.-M. LABAT, J. MATHIEU, C. MOINARD, B. DE LA PASSARDIERE, J.-CH. POMEROL, G. TISSEAU

Le groupe Systèmes d'aide à la formation joue un rôle important dans la communauté des Environnements Interactifs d'Apprentissage avec Ordinateur (EIAO). La revue francophone Sciences et Techniques Educatives, publiée par Hermès, compte parmi nous, deux membres du comité de rédaction (M. Joab, B. de la Passardière) et trois membres du comité de lecture (M. Baron, M. Futersack, J.-M. Labat). La revue *International Journal of Artificial Intelligence in Education* a d'eux d'entre nous dans son comité de lecture (M. Baron, M. Joab). L'équipe a participé activement au groupe EIAO du PRC-GDR IA (co-responsables : M. Baron, M. Vivet) et a collaboré dans ce cadre à l'organisation de journées de travail, à la réalisation de synthèses (Balacheff et al., 1997). Cette activité se poursuit au sein du GDR I3, (axe 4 : Interaction et Coopération, 4.3 Interaction Homme Machine et Connaissances). L'équipe co-organise deux séminaires dédiés aux systèmes de formation : le séminaire Hypermédias, Education et Formation (B. de La Passardière) et le séminaire Environnements interactifs d'apprentissage avec ordinateur (M. Baron, M. Joab). De plus, la présidence du comité de programme des Journées EIAO'97 a été assurée par M. Baron et celle des Journées Hypermédias et Apprentissage 1996 et 1998 par B. de La Passardière.

DIAPASON (O. Auzende, M. Joab, C. Moinard) est un système de formation professionnelle destiné aux chargés de conduite des réseaux français de distribution électrique moyenne tension qui a été l'objet d'un contrat avec EDF. DIAPASON est un système d'entraînement fondé sur la simulation. Le stagiaire est placé dans un environnement proche d'un environnement de travail réel. Il est face à une interface de téléconduite qui centralise tous les signaux émis par les composants du réseau et qui télécommande certains de ses composants. Le stagiaire travaille sur un dispositif évolutif, un réseau électrique simulé qui réagit à l'occurrence d'un défaut ou aux manœuvres. Il doit diagnostiquer le défaut et surtout réparer l'installation le plus rapidement possible pour réalimenter la clientèle.

Le stagiaire est placé en situation de résolution de problèmes. Sans être interrompu, il résout un exercice posé par DIAPASON qui fournit des explications et une évaluation de sa résolution. DIAPASON suit le stagiaire sans influencer sur sa résolution.

O. Auzende a conçu et réalisé un module de génération d'explications. L'explication est construite en fonction des actions du stagiaire et de l'évolution du dispositif industriel simulé. Elle porte sur le comportement du dispositif conduit : elle interprète les observables et fait émerger les événements significatifs. En continu, un mécanisme d'anticipation crée et réactualise les éléments d'explication parallèlement à la simulation. De ce fait, le module explicateur est prêt à tout moment à répondre à une demande de l'opérateur et, en temps réel, synthétise une explication à partir des éléments dont il dispose. Cette recherche aboutit à une méthode de conception d'explications dynamiques (Auzende, 1996a, 1996b, 1997 ; Auzende et al., 1996a, 1996b).

C. Moinard a développé dans sa thèse un module d'évaluation du stagiaire. Le stagiaire est évalué par rapport à une norme de l'activité que les instructeurs souhaitent promouvoir. L'évaluation porte non seulement sur les performances mais surtout analyse de manière critique la démarche du stagiaire. Elle s'appuie sur la comparaison avec une résolution de référence construite par un résolveur dynamique et paramétrable, couplé à un simulateur du dispositif. L'Évaluateur pilote ce résolveur pour suivre le stagiaire dans sa résolution même

après une erreur et produit l'évaluation au fur et à mesure de la résolution du stagiaire (Moinard, 1996 ; Moinard et al., 1997). L'intérêt de ce travail est de définir une méthode de conception de l'évaluation fondée sur le seul modèle de l'activité.

Grâce aux méthodes développées, la démarche de conception de l'explication et de l'évaluation est réutilisable pour d'autres systèmes de formation professionnelle.

M. Joab recherche des méthodes d'ingénierie spécifiques pour aider les concepteurs des environnements interactifs d'apprentissage. Il est essentiel de faire émerger les choix d'architecture d'une analyse fine de l'interaction avec le stagiaire. En particulier, le caractère réactif et adaptatif de l'environnement, le fort degré d'initiative du stagiaire seront autant de facteurs à analyser et à prendre en compte dans la conception. L'une des voies à explorer consiste à définir des *patterns* d'architecture et leurs critères d'application liés à des schémas d'interaction avec le stagiaire. M. Joab, en collaboration avec I. Paumelle (LIF) et B. Delforge (Paris 5), a isolé certaines caractéristiques de DIAPASON qui justifient pleinement le choix d'une architecture distribuée : un système fondé sur la simulation, un système où le stagiaire perçoit un réseau dynamique en constante évolution, et enfin un système qui fournit une aide en temps réel disponible à tout moment de l'exercice.

Un nouveau projet industriel en collaboration avec Thomson Training & Simulation a débuté en décembre 1997 (M. Joab, O. Auzende, M. Fattersack). Ce projet d'une durée d'un an a pour but de développer un système d'aide à l'instructeur qui forme des stagiaires via un simulateur d'entraînement. Le simulateur d'entraînement, cible du projet est un dispositif "en dur" qui reproduit le poste de commande du char Leclerc. Il s'agit de réaliser essentiellement deux fonctions d'aide à l'instructeur : dans la première phase (pour 1998) un générateur d'exercices et par la suite une évaluation de l'équipage stagiaire.

FORMENTOR-Formation (H. Caetano, J. Mathieu) s'appuie sur le système FORMENTOR développé par le centre de recherche de la CEE à Ispra dans la cadre d'un projet EUREKA, avec la participation de Aérospatiale Protection Systèmes et Cap Sogeti Innovation. L'objectif est la formation à la conduite, et à la prise de décision en cas d'incidents, de processus industriels complexes tels que le remplissage en combustible d'un satellite lors de son lancement.

L'analyse des principales catastrophes naturelles fait apparaître que les dysfonctionnements les plus notables au cours de leur gestion sont dûs essentiellement à un manque de coopération entre institutions intervenantes. Dans la suite de nos activités avec les institutions intervenant au cours d'une catastrophe nous nous proposons de réaliser des systèmes de formation prônant la coopération entre institutions intervenantes comme base de ces systèmes. Le logiciel INTEMPÉRIES (H. Caetano, J. Mathieu) est le noyau de simulation à la base de ces systèmes de coopération (Caetano, 1997)

H. Giroire et G. Tisseau sont à l'origine, avec F. Le Calvez et M. Urtasun (Informatique et Communication, Paris 5), du projet COMBIEN ? qui vise à réaliser un environnement interactif d'apprentissage avec ordinateur dans le domaine des dénombrements. Les exercices de dénombrement sont posés en langage naturel, d'une part à l'apprenant et d'autre part au module résolveur ; un tel problème se ramène à déterminer le nombre d'éléments d'un ensemble défini déclarativement à l'aide de contraintes. Une méthode de résolution a été élaborée : la méthode constructive de dénombrement. Elle consiste à concevoir une définition de l'ensemble à dénombrer qui puisse être interprétée comme un algorithme de génération des éléments de cet ensemble, puis à raisonner sur cet algorithme au niveau "méta", sans l'exécuter (Tisseau et al., 1996). L'objectif du tutoriel est de faire acquérir cette méthode, généralisable à d'autres domaines.

Cette méthode a été mise en œuvre dans un système d'IA qui permet d'une part l'introduction d'énoncés formalisés des exercices, de définitions constructives, d'autre part la

mise en œuvre de ces constructions pour trouver la solution et la vérification de la validité de ces constructions en utilisant un résolveur (SYRCLAD) basé sur la classification des problèmes.

Une progression des activités proposées aux apprenants pour l'acquisition de la "méthode constructive de dénombrement" a été conçue afin de permettre aux élèves de se forger des représentations adaptées et de se familiariser avec l'application de la méthode à différentes classes de problèmes. La relative complexité de ce modèle (une trentaine de classes pour pouvoir exprimer un éventail suffisant d'énoncés et de définitions constructives) impose à l'interface de fournir des aides à la modélisation. Pour une première phase d'apprentissage, des interfaces ont été conçues sous la forme de "machines à construire des objets" ; chacune de ces machines est associée à une classe de problèmes et matérialise un certain type de construction d'objets mathématiques structurés (relations, applications, ensembles, listes) (Le Calvez et al., 1997). La progression prévue va jusqu'à la formalisation mathématique des solutions et des démonstrations.

A partir de la nécessité d'un résolveur adapté à l'explication et à l'enseignement dans le projet COMBIEN ?, N. Guin a conçu et réalisé une architecture de système de résolution de problèmes, qui est indépendante du domaine d'application. Cette architecture permet d'utiliser des connaissances organisées autour d'une classification des problèmes du domaine. Cette approche est originale car elle sépare explicitement les connaissances destinées à reformuler et classer les problèmes d'une part, et celles destinées à les résoudre d'autre part. La détermination de la classe d'un problème présente des difficultés spécifiques qui rendent inadaptée l'utilisation d'un classifieur fondé sur la logique terminologique. Celle-ci exigerait en effet que le problème soit d'emblée décrit dans les termes de la classification. Or, ce n'est pas le cas ici et le processus de classification doit être mené conjointement avec un processus de reformulation : il faut transformer le problème initial en un problème équivalent instance d'une classe connue (Guin, 1997). Cette méthode a été mise en œuvre dans le système SYRCLAD et a été appliquée avec succès à quatre domaines différents : les dénombrements, le jeu de Tarot, les problèmes additifs et la thermodynamique (Guin, 1997b, 1997c). Ce travail a permis de dégager des métaconnaissances communes aux quatre domaines notamment une notion de complexité qui illustre dans quelles étapes réside la difficulté dans chaque domaine (Guin, 1997a). Elle a également implémenté dans SYRCLAD une méthode de décomposition des problèmes qui n'entrent pas dans la classification connue en comparant le problème à résoudre aux classes existantes et en dégageant des sous-problèmes (Guin, 1998). L'ensemble de ses travaux a permis à N. Guin de soutenir une thèse de l'université Pierre et Marie Curie, en décembre 1997.

L'implémentation d'un système dans l'environnement VisualWorks pour en garantir la portabilité est en cours. Son interface est suffisamment élaboré pour être utilisé par les élèves. Nous avons défini des concepts spécifiques pour réaliser des interfaces pédagogiques (Tisseau, 1998) en particulier concernant la gestion des différents types d'erreur.

Modélisation de connaissances imparfaites

Sur le thème de la modélisation d'apprenant et du diagnostic cognitif, M. Baron a poursuivi l'étude de plusieurs approches de représentation et de traitement de "connaissances imparfaites" (logiques de connaissance et de croyance, logiques non monotones, formalisation de raisonnements révisables, systèmes de maintien de cohérence, révision) (Baron, 1996). Cette étude se rattache à l'approche proposée par J. Self (Université de Lancaster) pour formaliser l'interaction entre un EIAO et un apprenant en termes de communication entre "systèmes de croyances" (*belief systems*). Ceci se généralise aux environnements d'apprentissage collaboratif, où plusieurs apprenants (et éventuellement des

formateurs) peuvent communiquer à distance, via un réseau, ce qui rejoint des problèmes de modélisation dans les systèmes multi-agents. Un début d'application a été effectué dans le cadre du projet CHENE (équipe COAST, CNRS-IRPEACS, ENS de Lyon, resp. A. Tiberghien) (Lund et al., 1996).

Modélisation cognitive en situation de résolution de problèmes

Au sein du groupe de travail pluridisciplinaire PROVERB (groupe de production verbale et résolution de problème) de l'Association pour la Recherche Cognitive, J.-M. Labat et J.-Ch. Pomerol ont réalisé plusieurs simulations permettant de tester et d'affiner la modélisation (réalisée à partir de l'analyse psycholinguistique des protocoles verbaux) du processus cognitif d'une personne engagée dans une tâche de résolution de problèmes. Les progrès obtenus dans la modélisation du comportement humain à partir de ses verbalisations lors de la dernière simulation réalisée, nous permet d'envisager pour le futur la conception d'une architecture cognitive pour tester soit différents sujets, soit un même sujet à différentes périodes de son apprentissage (Labat et al., 1996).

Dans le projet PROFIL, B. de La Passardière collabore avec l'ITEM (Institut des Textes et Manuscrits Modernes) pour la mise en place d'une base de données multimédia. A partir des éléments du descriptif standard pour les manuscrits modernes, il s'agit de mettre en place une interface d'interrogation de cette base de données par des chercheurs — confrontés à des problèmes d'identification du scripteur, de datation d'un écrit, de classification des pages d'un manuscrit — experts dans l'étude des textes (documents autographes, manuscrits, épreuves...), mais pas en *codicologie*. Cette interrogation peut tout aussi bien concerner des filigranes (entiers ou partiels) *bêtagraphiés*, que des corpus d'auteurs dans lesquels les informations ne sont pas homogènes (par exemple : dates imprécises, supposées ou encore exprimées selon le calendrier révolutionnaire...).

Publications

Livres (4)

- Barba-Romero S. et **Pomerol J.-C.**, *Decisiones Multicriterio Fundamentos teoricos y utilizacion practica*, Universidad de Alcala Publicaciones, 1997. (traduction de Décision multicritère dans l'entreprise, Hermès, 1993).
- Humphreys P., Bannon L., McCosh A., Migliarese P. et **Pomerol J.-C.**, *Implementing Systems for Supporting Management Decisions*, Chapman and Hall (Londres), 1996.
- Tisseau G.**, *Intelligence artificielle, problèmes et méthodes*, PUF (Paris, France), 1996.
- Widmeyer G., Berkeley D., **Brézillon P.** et Rajkovic V., *Context-Sensitive Decision Support Systems*, Chapman & Hall (Londres), 1998.

Publications parues dans des revues, notoriété importante (22)

- Boufkhad Y. et **Dubois O.**, Length of Prime Implicants and number of solutions de random CNF formulae, *Theoretical Computer Science* (1997) (accepté).
- Brézillon P.**, Modeling and using context: Report on the first international and interdisciplinary conference CONTEXT-97, *The Knowledge Engineer Review* (1997) (accepté).
- Chrétienne P.**, List Schedules for Cyclic Scheduling, *Discrete Applied Mathematics* (1997) (accepté).

- Dubois O.** et Boufkhad Y., A general upper bound of the satisfiability threshold for random r-SAT formulæ, *Journal of Algorithms*, vol. 24 (1997) pp. 395-420.
- Dubois O., André P.,** Boufkhad Y. et **Carlier J.**, SAT versus UNSAT, *AMS, DIMACS Series in Discrete Mathematics and Theoretical Computer Science*, vol. 26 (1996) pp. 415-436.
- Gonzales C.**, Additive Utilities When Some Components Are Solvable and Others Are Not, *Journal of Mathematical Psychology*, vol. 40, n° 2 (1996), pp. 141-151.
- Gonzales C.**, Additive Utility Without Restricted Solvability on All Components, *Mathematical Social Sciences* (1996) (accepté).
- Gonzales C.** et **Jaffray J.-Y.**, Imprecise Sampling And Direct Decision Making, *Annals of Operations Research*, N° Special Issue on Preference Modelling (1997) (accepté).
- Hanan C.** et **Munier A.**, Performance of Coffmann-Graham schedules in presence of unit communication delays, *Discrete Applied Mathematics*, vol. 81 (1998) pp. 93-108.
- Jaffray J.-Y.** et **Philippe F.**, On the Existence of Subjective upper and lower Probabilities, *Mathematics of Operations Research*, vol. 22, n° 1 (1997) pp. 165-185.
- Le Goueslier d'Argence P.**, Affine Scheduling on Bounded Convex Polyhedral Domains is Asymptotically Optimal, *Theoretical Computer Sciences*, N° Special issue on Parallel Computing (1997) (accepté).
- Le Goueslier d'Argence P.**, Un ordonnancement asymptotiquement optimal sur un domaine semi-infini multidimensionnel, *Technique et Science Informatique* (1997) (accepté).
- Munier A.**, Approximation algorithms for scheduling trees with general communication delays, *Parallel Computing* (1998) (accepté).
- Munier A.**, The complexity of a cyclic scheduling problem with identical machines, *European Journal of Operational Research*, vol. 91 (1996) pp. 471-480.
- Munier A.**, The cyclic scheduling problem with linear precedence constraints, *Discrete Applied Mathematics*, vol. 64 (1996) pp. 219-238.
- Munier A.** et **Hanan C.**, Using duplication for scheduling unitary tasks on m processors with communication delays, *Theoretical Computer Sciences* (1997) pp. 119-127.
- Munier A.** et **König J.-C.**, A heuristic for a scheduling problem with communication delays, *Operations Research*, vol. 45, n° 1 (1997) pp. 145-148.
- Perny P.**, Multicriteria Filtering methodes based on concordance and non-discordance principles, *Annals of Operations Research*, n° Special issue on "Preference Modelling" (1997) (accepté).
- Perny P.** et **Vanderpooten D.**, An interactive multiobjective procedure for selecting medium-term contermesures after nuclear accidents, *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, vol. 7 (1998) pp. 48-60.
- Picouleau C.**, Worst-case analysis of fast heuristics for packing squares into a square, *Theoretical Computer Sciences*, vol. 164 (1996) pp. 59-72.
- Pomerol J.-C.**, Artificial Intelligence and human Decision making *European Journal of Operational Research*, vol. 99 (1997) pp 59-72.
- Sourd F.** et **Chrétienne P.**, Fiber-to-Object Assignment Heuristics, *European Journal of Operational Research* (1998) (accepté).

Publications parues dans des revues, notoriété courante (13)

- Baron M.** et **Bouchon-Meunier B.***, Comment utiliser des connaissances imparfaites ?, *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, vol. 31, n° 4 (1996) pp. 232-238.

- Brézillon P. et Pomerol J.-C.**, User acceptance of interactive systems: Lessons from Knowledge-Based and Decision Support Systems, *Int. J. Failures & Lessons Learned in Information Technology Management*, vol. 1, n° 1 (1997) pp. 67-75.
- Brézillon P. et Pomerol J.-C.**, Lessons learned on successes and failures of KBSs, *Int. J. on Failures & Lessons Learned in Information Technology Management*, vol. 1, n° 2 (Special Issue on Successes and Pitfalls of Knowledge-Based Systems in Real-World Applications) (1997) pp. 89-98.
- Brézillon P.**, Preface of the Special Issue on Successes and Pitfalls of Knowledge-Based Systems in Real-World Applications, *Int. J. on Failures & Lessons Learned in Information Technology Management*, vol. 1, n° 2 (1997) pp. 77-78.
- Brézillon P.**, Successes and Failures of KBSs in Real-World Applications: Report on the International Conference, *International Journal on Knowledge-Based Systems*, vol. 10, n° 4 (1997) pp. 253-258.
- Bruillard E. et **De La Passardière B.**, Fonctionnalités hypertextuelles dans les environnements d'apprentissage, *Hypertextes et Hypermédias*, vol. 2, n° 1 (1998).
- El Ghaoui L., Lebreton H. et **Rottembourg B.**, Optimisation convexe pour les sciences de l'ingénieur, *Revue Scientifique et Technique de la Défense*, vol. 35 (1996) pp. 99-108.
- Gonzales C. et WUILLEMIN P.-H.**, Réseaux Bayésiens en Modélisation Utilisateur, *Sciences et Techniques Educatives* (1998) (soumis).
- Joab M. et Rossari C.**, Analyse automatique de séquences explicatives fondée sur le modèle genevois d'analyse du discours, *Psychologies de l'Interaction*, vol. 9-10, n° Numéro spécial "Etude d'explications dans un corpus de dialogues finalisés" (1999) (accepté).
- Journée P., **Perny P.** et Vanderpooten D., A multicriteria methodology for the verification of arms control agreements in Europe, *Foundations of Computing and Decision Sciences* (1998) (accepté).
- Labat J.-M., Pomerol J.-C., Nigro J.-M., Caron J., Fievre M.-D. et Caron-Pargue J.**, Computer and Human problem solving strategies: The case of the Tower of Hanoi, *Antwerp papers in Linguistics*, vol. 85 (1996) pp. 75-90.
- Moinard C.**, Aide à la conception d'un Evaluator pour un environnement d'apprentissage, *Sciences et Techniques Educatives*, vol. 5, n° 2 (1998).
- Pomerol J.-C., Roy B. et Rosenthal-Sabroux C.**, Development of an "intelligent" system for the evaluation of railway timetables: problems and issues, *Journal of Decision Systems*, vol. 5 (1996) pp. 249-267.

Publications dans des actes de congrès ou des ouvrages de synthèse, notoriété importante (37)

- Adam F.**, Experimentation With Organisation Analyser, A Tool For The Study Of Decision Making Networks in Organisations, in *Implementing Systems for Supporting Management Decisions*, P. Humphreys, L. Bannon, A. McCosh, P. Migliarese et J.-C. Pomerol (Eds.), Chapman and Hall (1996), pp. 1-20.
- Adam F.** et Fitzgerald B., A Framework for Analysing the Evolution of the IS Field. Can IS Become a Stable Discipline, *4th European Conference on Information Systems (ECIS'96)*, Lisbonne (1996).
- Adam F. et Pomerol J.-C.**, Context sensitive decision analysis based on the investigation of organizational information networks, in *Context-Sensitive Decision Support Systems*, G. Widmeyer, D. Berkeley, P. Brézillon et V. Rajkovic (Eds.), Chapman & Hall (1998) (accepté).
- Auzende O. et Joab M.**, Explications dynamiques d'un dispositif simulé, *Reconnaissance des Formes et Intelligence Artificielle (RFIA'96)*, Rennes (1996) pp. 387-394.

- Baker M., Charnay L., **Joab M.**, Lemaire B., Safar B. et Schlienger D., Incorporating functionalities of expert medical critiquing dialogues in the design of a graphical interface, *8th IEEE Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI'96)*, Toulouse (1996) pp. 122-129.
- Borgi A. et El Kassar S.**, Using Artificial Intelligence for Cognitive Simulation, *2nd LAAS International Conference on Computer Simulation*, Liban (1997).
- Boufkhad Y.**, Grégoire E., Marquis P. et Sais L., Tractable Cover Compilations, *IJCAI97*, Nagoya, Japon (1997) pp. 122-127.
- Brézillon P. et Pomerol J.-C.**, Using contextual information in decision making., in *Context-Sensitive Decision Support Systems*, G. Widmeyer, D. Berkeley, P. Brézillon et V. Rajkovic (Eds.), Chapman & Hall. Eds (1998).
- Brézillon P. et Pomerol J.-C.**, Misuse and nonuse of knowledge-base systems: the past experience revisited, in *Implementing Systems for Supporting Management Decisions*, P. Humphreys, L. Bannon, A. McCosh, P. Migliarese et J.-C. Pomerol (Eds.), Chapman and Hall (1996) pp. 44-60.
- Brézillon P., Pomerol J.-C., et Saker I.**, Contextual and contextualized knowledge: An application in subway control., *International Journal on Human-Computer Studies*, Special Issue on Using Context in Applications. (1998) (accepté).
- Cavalcanti M. et **Brézillon P.**, *Formal and Linguistic aspects of Context*, Kluwer Series (London), 1998 (accepté).
- Fodor J., Orlovski S., **Perny P.** et Roubens M., The Use of fuzzy Preference Models in Multiple Criteria Choice, Ranking and Sorting, in *Handbook of Fuzzy Sets and Possibility Theory*, R. Slowinski, D. Dubois et H. Prade (Eds.) (1997) chapitre 3 (accepté).
- Fodor J., **Perny P.** et Roubens M., Decision Making and Optimization, in *Handbook of Fuzzy Computations*, E. Ruspini, P. Bonissone et W. Pedrycz (Eds.) (1997) chapter 5.
- Futtersack M.**, ATLAS : une combinaison d'approximation et de recherche, *11ème congrès Reconnaissance de Formes et Intelligence Artificielle (RFIA'98)*, Clermont-Ferrand, France (1998) vol. 2, pp. 87-95.
- Ghedjati F.**, Genetic algorithm for the generalized job-shop scheduling problem, *IPMU'96*, Grenade, Espagne (1996) vol. 2, pp. 793-807.
- Giannakos A., Koenig J.-C. et **Munier A.**, On the Cyclic Scheduling Problem with Small Communication Delays, *Europar96, Parallel Processing* (1996), Lecture notes in computer sciences vol. 1124, pp. 578-582.
- Gonzales C.**, Utilitarianism With Individual Variations In Utility, *Third International Meeting of The Society For Social Choice And Welfare*, Maastricht, Pays-Bas (1996).
- Guin N.**, Utiliser une classification pour résoudre et décomposer des problèmes, *11ème congrès Reconnaissance de Formes et Intelligence Artificielle (RFIA'98)*, Clermont-Ferrand, France (1998) vol. 3, pp. 135-144.
- Guin N.**, Building a new model in order to solve a problem: use of classification, *IJCAI-97*, Nagoya, Japon (1997), Collection of poster abstracts, p. 42.
- Guin N.**, Changing the representation of a problem in order to solve it: use of classification, *AI-ED 97*, Kobe, Japon (1997) (B. D. Boulay et R. Mizoguchi Eds.), pp. 583-585.
- Jaffray J.-Y.**, Implementing resolute choice, *Uncertainty in AI*, Madison, Wisconsin (1998) (accepté).
- Jaffray J.-Y.** et Lorit S., On the Maximum of Conditional Entropy for upper/lower Probabilities, *IPMU*, Grenade, Espagne (1996) vol. 3, pp. 1331-1336.

- Labat J.-M.** et **Mynard L.**, Oscillation, heuristic ordering and pruning in neighborhood search, *Third International Conference on Principles and Practice of Constraint Programming (CP'97)*, Schloss Hagenberg, Autriche (1997) pp. 506-518.
- Lahlou C.**, Scheduling with unit processing and communication times on a ring network: approximation results, Springer-Verlag (1997) pp. 538-542.
- Le Goueslier d'Argence P.**, An asymptotically optimal affine schedule on bounded convex polyhedral domains (1996).
- Lund K., Baker M. et **Baron M.**, Modelling Dialogue and Beliefs as a basis for generating guidance in a CSCL environment, *Third International Conference on Intelligent Tutoring Systems*, Montréal, Canada (1996) vol. LNCS n°1086, pp. 206-214.
- Monnet J.-M.**, Lagrange J.-P. **Pomerol J.-Ch.** et Teulier R., A formal framework for decision making in case-based reasoning, *IPMU*, Paris, France (1998) (accepté).
- Monnet J.-M.**, Lagrange J.-P. **Pomerol J.-Ch.** et Teulier R., A model for qualitative decision relying on case-based reasoning, *ECAI-98 Workshop on Qualitative Decision*(1998).
- Munier A.** et Queyranne M., Approximation Bounds for a General class of precedence constrained parallel machine problems, *IPCO'98*, Houston, Etats-Unis in *Lecture Notes in Computer Science* (1998) (accepté).
- Mynard L.** et **Labat J.-M.**, Résolution du sac-à-dos multidimensionnel par une heuristique oscillante, *11ème congrès Reconnaissance de Formes et Intelligence Artificielle (RFIA'98)*, Clermont-Ferrand, France (1998) vol. 2, pp. 107-113.
- Mynard L.** et **Labat J.-M.**, Combination of heuristic local search and heuristically ordered implicit enumeration, *2nd Metaheuristic International Conference (MIC'97)*, Sophia-Antipolis, France (1997), pp. 289-292.
- Perny P.** et Roubens M., Preference Modelling, in *Handbook of Fuzzy Sets and Possibility Theory*, R. Slowinski, D. Dubois et H. Prade (Eds.) (1997) chapitre 1 (accepté).
- Perny P.** et **Pomerol J.-C.**, Use of Artificial Intelligence in MCDM, in *Advances in MCDM*, T. Gal, T. Hanne et T. Stewart (Eds.) (1998) chapitre 15 (accepté).
- Perny P.** et Tsoukias A., On the continuous extension of four valued logic for preference modelling, *IPMU*, Paris, France (1998) (accepté)
- Pomerol J.-C.** et **Brézillon P.**, From DSSs to cooperative systems: some hard problems still remain., *Proceedings of The Hawaii International Conference on System Sciences.*, Hawaï (1998) vol. V, pp. 64-71.
- Pomerol J.-C.** et **Brézillon P.**, Organizational experiences with multicriteria decision support systems: Problems and issues, *30th Hawaï International Conference on System Sciences*, Wailea, Hawaï, USA (1997).
- Pomerol J.-C.** et Miresco E., Decision support system for planning construction building projects, *IPMA World Congress on Project Management* (1996), pp. 607-616.

Publications dans des actes de congrès ou des ouvrages de synthèse, notoriété courante (46)

- Adam F.**, Bowe P. et Murphy C., Ireland, an Island Adrift in a Network or Networks, *4th SISnet Conference*, Lisbonne (1996).
- Agabra J.**, **Alvarez I.** et **Brézillon P.**, Acquisition et implémentation de connaissances contextuelles dans un SBC en oenologie., *Ingénierie des Connaissances (IC'97)*, Roscoff, France (1997).
- Agabra J.**, **Alvarez I.** et **Brézillon P.**, Contextual knowledge based system: A study and design in enology, *First International and Interdisciplinary Conference on Modeling and Using Context (CONTEXT-97)*, Rio de Janeiro, Brasil (1997) vol. 1, pp. 351-362.

- Auzende O.**, Aide à la compréhension du comportement d'un dispositif simulé, *Première Conférence Francophone de Modélisation et de Simulation, Systèmes de Production et de Logistique (MOSIM'97)*, Rouen (1997) pp. 519-526.
- Auzende O.**, Explaining the evolution of a simulated system, *European Conference on AI in Education (EuroAIED 96)*, Lisbonne, Portugal (1996), pp. 59-65.
- Auzende O.** et **Joab M.**, L'explication temps réel : une aide à l'opérateur, *Explication'96*, Sophia-Antipolis (1996) pp. 93-105.
- Baker M., Charnay L., Gréboval M.-H., **Joab M.**, Lemaire B., Safar B. et Schlienger D., Conception d'une interface de validation d'un diagnostic médical, *Explication'96*, Sophia-Antipolis (1996) pp. 17-30.
- Baker M., Charnay L., Gréboval M.-H., **Joab M.**, Lemaire B., Safar B. et Schlienger D., Transposer les principales fonctions d'un dialogue explicatif dans une interface graphique, *Journées Nationales du PRC IA*, Grenoble (1997) pp. 339-355.
- Balacheff N., **Baron M.**, Desmoulins C., Grandbastien M. et Vivet M., Conception d'environnements interactifs d'apprentissage avec ordinateur-Tendances et perspectives, *6èmes Journées Nationales du PRC-GDR Intelligence Artificielle*, Grenoble, France (1997), pp. 315-337.
- Borgi A.**, Bazin J.-M. et **Akdag H.**, Classification supervisée d'images par génération automatique de règles, *5èmes Rencontres de la Société Francophone de Classification*, Lyon (1997).
- Borgi A.** et **El Kassar S.**, Raisonnement à Partir de Cas et Simulation. Application au Comportement Cognitif, *1ère Conférence Francophone de Modélisation et Simulation (MOSIM'97)*, Rouen (1997) pp. 559-561
- Borgi A.** et **Mathieu J.**, Vers une modélisation de l'approche qualitative de novices en statistiques, *5èmes Journées francophones EIAO*, Cachan (1997).
- Bouyssou D. et **Perny P.**, Aide multicritère à la décision et théorie du choix social, *numéro spécial de la revue Nouvelles de la science et de la technologie* (1998) (accepté).
- Brézillon P.**, Preface of the Special Issue on Using Context in Applications., *International Journal on Human-Computer Studies*, n° Special Issue on Using Context in Applications. (1998) (accepté)
- Brézillon P.**, Context in Artificial Intelligence: A survey, *Seventh International Conference on Artificial Intelligence and Information-Control Systems of Robots*, Slovaquie (1997) pp. 91-102.
- Brézillon P.**, Context modeling in real-world applications., *Proceedings of the International Workshop on Distributed Artificial Intelligence and Multi-Agent Systems (DAIMAS-97)*, Saint-Petersbourg (1997) pp. 78-83.
- Brézillon P.**, A first step towards the modeling of contexts, *2nd European Conference on Cognitive Science (ECCS'97)*, Manchester, UK (1997) vol. 1, pp. 195-198.
- Brézillon P.** et Cavalcanti M., Modeling and using context: Report on the First International and Interdisciplinary Conference on Using and Modeling Context in Real-World Applications, *CONTEXT-97.*, *The Knowledge Engineer Review*, vol. 12, n° 4 (1997) pp. 1-10.
- Brézillon P.**, **Gentile C.**, **Saker I.** et **Secron M.**, SART: A system for supporting operators with contextual knowledge, *First International and Interdisciplinary Conference on Modeling and Using Context (CONTEXT-97)*, Rio de Janeiro, Brasil (1997) vol. 1, pp. 209-222.
- Brézillon P.** et **Pomerol J.-C.**, Contextual issues in the framework of multicriteria decision making, *First International and Interdisciplinary Conference on Modeling and Using Context (CONTEXT-97)*, Rio de Janeiro, Brasil (1997) vol. 1, pp. 256-268.

- Brézillon P. et Pomerol J.-C.**, Joint cognitive systems, cooperative systems and decision support systems: A cooperation in context, *2nd European Conference on Cognitive Science (ECCS'97)*, Manchester, UK (1997) vol. 1, pp. 129-139.
- Brézillon P., Pomerol J.-C. et Saker I.**, Modeling context in information seeking., *International Conference on Information needs, Seeking and Use in Different Contexts, ISIC'98.*, Sheffield, UK (1998) (accepté).
- Brézillon P. et Rajkovic V.**, *Context-Sensitive Decision Support Systems: Supplement papers*, LIP6 (Paris, France), 1998 (accepté).
- Caetano H. et Mathieu J.**, Des systèmes de formation à la gestion de catastrophes fondés sur la coopération entre institutions intervenantes, *Première Conférence Francophone de Modélisation et de Simulation, Systèmes de Production et de Logistique (MOSIM'97)*, Rouen (1997) pp. 135-146
- Fitzerald B. et **Adam F.**, The Future of IS: Expansion or Extinction ?, *1st Annual Conference of the United Kingdom Academy for Information Systems*, Cranfield (1996).
- Ghedjati F. et Pomerol J.-C.**, Algorithmes génétiques pour le problème d'ordonnancement job-shop avec machines en parallèle et contraintes de précédences : méthode par brassage d'heuristiques, *Journées Nationales sur la Résolution Pratique de Problèmes NP-complets*, Nantes (1998) (accepté).
- Guin N.**, Problem solving using classification of the domain problems, *EXPERTSYS-96*, Paris-Marne La Vallée, France (1996).
- Guin N.**, Résolution de problèmes à partir de la classification du domaine, *3èmes Rencontres nationales des jeunes chercheurs en intelligence artificielle*, Nantes, France (1996), p. 264. (poster)
- Guin N.**, Changer de modèle pour résoudre un problème : utilisation de la classification, *5èmes Journées francophones EIAO*, Cachan (1997), pp. 223-235.
- Henriet P. et **Perny P.**, Méthodes multicritères non-compensatoires pour la classification floue d'objets, *Logique Floue et Applications*, Nancy, France (1996) pp. 9-15.
- Jaffray J.-Y.**, On the Maximum of Conditional Entropy for upper/lower Probabilities generated by Random Sets, *Application and Theory of Random Sets*, Minneapolis, Etats-Unis (1996) (IMA Ed., pp. 107-127).
- Le Calvez F., Urtasun M., **Tisseau G., Giroire H.** et Duma J., Les machines à construire : des modèles d'interaction pour apprendre une méthode constructive de dénombrement, *5èmes Journées francophones EIAO*, Cachan (1997).
- Martini-Bigolin N. et Brézillon P.***, An experience using context in translation from system's requirements to conceptual model, *First International and Interdisciplinary Conference on Modeling and Using Context (CONTEXT-97)*, Rio de Janeiro, Brasil (1997) vol. 1, pp. 319-330.
- Moinard C. et Joab M.**, Dynamic assessment for operator training, *Sixth International Conference on User Modeling (UM97)*, Chia Laguna, Sardaigne, Italie (1997), pp. 255-257 (poster).
- Mynard L. et Labat J.-M.**, Exploration heuristique et métaheuristique, *Journées nationales pour la résolution pratique des problèmes NP-complets (JNPC'97)*, Rennes (1997), pp. 17-23.
- Perny P.**, Non-monotonic decision procedures resulting from iterated choices, *EURO XVI*, Bruxelles, Belgique (1998) (accepté).
- Perny P. et Henriët L.**, Fuzzy assignment methods for multicriteria decision problems, *Euro Working Group on Multicriteria Decision Making*, Bruxelles, Belgique (1996).
- Perny P. et Vanderpooten D.**, The elaboration of stable prescriptions for decision aid, *IFORS'96*, Vancouver, Canada (1996) p. 140. (contribution nationale - France).

- Pomerol J.-C.**, Diagnosis and look-ahead machines, *Asia-Pacific DSI Conference* (1996) vol. 1, pp. 369-378.
- Pomerol J.-C.**, Cognition and Decision: about some recent results in neurobiology, *ISDSS 97* (1997) pp. 115-125.
- Pomerol J.-C.**, Scenario development and practical decision making under uncertainty: robustness, case-based reasoning and "risk control", *IEEE CESA-98* (1998) vol. 2, pp. 238-242.
- Pomerol J.-C.**, et **Brézillon P.**, Scenario development and practical decision making., *2ndes Journées Francophones de Recherche Opérationnelle, FRANCORO II*, Sousse, Tunisie (1998) (accepté).
- Pomerol J.-C.**, et **Brézillon P.**, Multicriteria decision making: A cooperative process explainable in context., *13th International Conference on Multiple Criteria Decision Making.*, Cap Town (1997).
- Pomerol J.-C.**, et **Brézillon P.**, Are implementation problems of KBS and DSS different?, *International Conference on Successes and Failures of Knowledge-Based Systems in Real-World Applications*, Bangkok, Thaïlande (1996), pp. 1-10.
- Wuillemin P.-H. et Gonzales C.**, Implémentation efficace d'algorithmes de propagation dans les réseaux probabilistes, *FRANCORO II*, Sousse, Tunisie (1998).
- Zaraté P.**, El Mansouri H. et Alquier A.-M., An oriented agent model for the cooperative decision making, *COOP'96*, Antibes (1996).

Brevets, logiciels (distribués par ftp) (1)

- Wuillemin P.-H.**, MoByDiCk, Librairie de gestion de graphes et de réseaux probabilistes. Implémentation d'améliorations des méthodes de propagation type Pearl., CrossPlatform (Unix, Windows 95, NT), 1997.

Divers et rapports de recherche (45).

- Adam F.**, Bowe P. et Murphy C., *An Empirical Study of the Irish Experience with the World Wide Web*, Discussion and Research Paper (ESRC) n°4/96, avril 1996.
- Agabra J.**, **Alvarez I.** et **Brézillon P.**, *Acquisition et implémentation de connaissances contextuelles dans un SBC en oenologie.*, Rapport de recherche LIP6 1997/06, juin 1997.
- Baron M.**, Tchounikine P., *Explications et EIAO, actes de la journée du 26 janvier 1996 (PRC-IA)*, RR LAFORIA96/33, décembre 1996.
- Borgi A.**, *Vers une Modélisation du Raisonnement Qualitatif en Statistiques*, RR LAFORIA96/14, mai 1996.
- Brézillon P.**, *Context in Human-Machine Problem Solving: A Survey*, RR LAFORIA96/29, octobre 1996.
- Brézillon P.**, **Pomerol J.Ch.**, *User Acceptance of Interactive Systems: Lessons from Knowledge-Based and Decision Support Systems*, RR LAFORIA96/16, mai 1996.
- Caetano H.** et **Mathieu J.**, *Des systèmes de formation à la gestion de catastrophes fondés sur la coopération entre institutions intervenantes*, rapport de recherche (LIP6). (à paraître)
- Chrétienne P.**, *List Schedules for Cyclic Scheduling*, rapport de recherche (LITP) n°96/34.
- Chrétienne P.**, Performance of cyclic list schedules, *GO III meeting*, Leukerbaad (1996).
- Chrétienne P.** et **Munier A.**, Timed Petri nets and cyclic scheduling, Advanced Tutorial, *ICATPN'96*, Osaka, Japon (1996).
- Dubois O.**, Horn renomability thresholds for random r-SAT formulae, *Workshop on the satisfiability problems*, Sienna, Italie (1996).

- Dubois O.** et Boufkhad Y., Negatively Prime Solutions to reduce searching space for solving SAT formulæ., *Fourth International Symposium on Artificial Intelligence and Mathematics*, Floride, Etats-Unis (1996).
- Dubois O.** et Boufkhad Y., What influences strongly the satisfiability and the hardness of SAT instances, *Workshop on the Satisfiability Problem : Theory and Applications*, Rutgers, Etats-Unis (1996).
- Fay A.**, *A Justification of Local Conditioning in Bayesian Networks*, document de travail (LIP6).
- Fay A.** et **Jaffray J.-Y.**, *Linking Bayesian Networks with or without loops*, document de travail.
- Futtersack M.**, *ATLAS and OLIVER: Combination of Approximation and Search Again*, RR LAFORIA97/04, mars 1997.
- Ghedjati F.**, *Genetic algorithms for the job-shop scheduling problem with parallel machines and precedence constraints : heuristic mixing method*, Rapport de recherche LIP6 1998/013, mars 1998.
- Ghedjati F.**, **Pomerol J.-Ch.**, *Résolution du problème d'ordonnancement de type Job-Shop généralisé par des heuristiques dynamiques*, Rapport de recherche LIP6 1997/005, juin 1997.
- Gonzales C.**, Two-Factor Additive Conjoint Measurement With One Solvable Component, *Journal of Mathematical Psychology* (1997). (soumis)
- Gonzales C.** et **Wuillemin P.-H.**, *A Qualitative Scheme for Optimizing Propagation in Single Connected Probabilistic Networks* (LIP6), 1998. (Working paper)
- Guin N.**, *Résolution de problèmes à partir de la classification du domaine*, RR LAFORIA96/05, janvier 1996.
- Jaffray J.-Y.** et Karni E., Elicitation of Subjective Probabilities when the Initial Endowment is Unobservable (1998). (soumis)
- Labat J.-M.**, **Futtersack M.**, *Constraint Programming within CLIPS*, Rapport de recherche LIP6 1997/029, novembre 1997.
- Labat J.-M.**, **Pomerol J.-C.**, **Nigro J.-M.**, **Caron J.**, **Fievre M.-D.** et **Caron-Pargue J.**, *Computer and Human problem solving strategies: The case of the Tower of Hanoi*, RR LAFORIA97/02, mars 1997.
- Lang J. et **Perny P.**, Décision et Intelligence artificielle, *Bulletin de l'AFIA*, vol. 31 (1997).
- Mustil (équipe), *Sur la notion de modèle en Informatique*, RR LAFORIA96/12, mai 1996.
- Mynard L.**, Strategic oscillation in heuristic local search, *International Conference on Knowledge Based Systems (KBCS'96)*, Bombay, Inde (1996). (poster)
- Perny P.**, *Aggregation Methods based on Agreement and Discordance Principles*, rapport du Groupe PRC Décision et représentation des connaissances, cahiers de l'IRIT (Université Paul-Sabatier).
- Perny P.** et Vanderpooten D., *Une méthodologie multicritère pour la vérification des accords sur le contrôle des armements en Europe*, cahier du LAMSADE (Université Paris-Dauphine) n°134.
- Philippe F.**, Cumulative Prospect Theory and Imprecise Risk (1998). (soumis)
- Philippe F.**, Linear utility theory with lower probabilities (1998).
- Philippe F.**, **Debs G.** et **Jaffray J.-Y.**, Decision making with imprecise risk (1997). (soumis)
- Pomerol J.-Ch.**, *Cognition and decision: about some recent results in neurobiology*, RR LAFORIA97/05, mars 1997.
- Pomerol J.-Ch.**, *Artificial Intelligence and Human Decision Making (Version revue et complétée)*, RR LAFORIA96/10, avril 1996.
- Pomerol J.-Ch.**, *Cognition et Décision : à propos de quelques résultats en Neurobiologie*, RR LAFORIA96/27, octobre 1996.

- Rottembourg B.** et Helleu C., A 6/5 approximation algorithm for a Steiner problem with edge lengths 1 and 2, *Symposium on Combinatorial Optimization CO'96* (1996).
- Rottembourg B.** et Mathurin, Efficient estimation of rain cell kinetics via hypergraph matchings, *European Geophysical Society Conference EGS'97* (1997).
- Rottembourg B.** et Pinori L., Application des méthodes de faisceaux à la relaxation lagrangienne de problèmes combinatoires, *Journées de l'Optimisation JO'97*, Montréal, Canada (1997).
- Tisseau G., Giroire H., Le Calvez F., Urtasun M. et Duma J.,** Une méthode "constructive" de résolution de problèmes de dénombrement et sa mise en oeuvre, , RR LAFORIA96/11, mai 1996.
- Tisseau G.,** Les activités d'un chercheur en intelligence artificielle : méthodes et conseils, RR LAFORIA97/06, mars 1997.
- Zarató P.,** Decision making and decision support systems for insurance problems, *Summer school decision making and insurance*, Constantza, Roumanie (1996).
- Zarató P.,** Systèmes interactifs d'aide à la décision : cas d'une grande compagnie aérienne, *JETAI'96* (1996).
- Zarató P.** et Alquier A.-M., A generic decision support system for project management, *7th meeting of the european working group on DSS*, Ispra, Italie (1996).
- Zarató P.,** Gandibleux X. et Rosenthal-Sabroux C., Artificial Intelligence and decision support systems: which interaction?, *14th EURO Conference*, Jérusalem, Israël (1996).
- Zarató P.,** Rosenthal-Sabroux C. et Tsoukias A., The process of decision aid: is it possible a formal representation, *IFORS'96*, Vancouver, Canada (1996).

Animation de la recherche

Activités éditoriales

Conseils scientifiques de collection

Pomerol J.-Ch.,

– Éditions Hermès (conseiller scientifique)

Rédacteur de revues et membres de comités de lecture

Auban A.,

– Sciences et Techniques Éducatives (comité de lecture)

Baron M.,

– Journal of Artificial Intelligence in Education (comité de lecture) (jusqu'en 1996)

– International Journal of Artificial Intelligence in Education (comité de lecture) (depuis 1996)

– Sciences et techniques éducatives, Hermès (comité de lecture)

– Bulletin de l'AFIA (comité de rédaction)

Brézillon P.,

– Journal of Decision Systems (Assistant de Rédaction)

– International Journal Computer and Artificial Intelligence (comité de rédaction)

Chrétienne Ph.,

- RAIRO, Recherche Opérationnelle (comité de rédaction)
- Journal Européen des Systèmes Automatisés (comité de lecture)

Jaffray J.-Y.,

- Theory and Decision (comité de rédaction)
- RAIRO, Recherche Opérationnelle (comité de rédaction)

Joab M.,

- Journal of Artificial Intelligence in Education (comité de lecture) (jusqu'en 1996)
- International Journal of Artificial Intelligence in Education (comité de lecture) (depuis 1996)
- Sciences et Techniques Éducatives (comité de rédaction jusqu'en avril 1998)

Labat J.-M.,

- Sciences et Techniques Éducatives (comité de lecture, comité de rédaction depuis avril 1998)

de La Passardière B.,

- Sciences et Techniques Éducatives (comité de rédaction)

Pomerol J.-Ch.,

- Journal of Decision Systems (rédacteur en chef)

Éditeur d'actes de congrès ou d'ouvrages collectifs

Baron M.,

- EIAO'97, Actes des 5^e Journées EIAO de Cachan, 14-16 mai 1997, ENS de Cachan, Hermès, 1997, 320 p (co-éditeurs : Mendelsohn P., Nicaud J.-F.)

Brézillon P.,

- CD-ROM Extended Encyclopedia of Systemics, Informatics, and Cybernetics (co-éditeur : Callaos N.) 1996
- Proceedings of the International Conference on Successes and Failures of Knowledge-Based Systems in Real-World Applications. Asian Institute of Technology Publisher, Bangkok, 1996 (co-editor : Batanov D.)
- Proceedings of the First International and Interdisciplinary Conference on Modeling and Using Context (CONTEXT). Federal University of Rio de Janeiro Publisher, Brasil, 1997 (co-editor : Cavalcanti M.)
- Special issue "Successes and Pitfalls of Knowledge-Based Systems" of the International Journal Failures & Lessons learned in Information Technology Management, 1(2), June 1997 (Guest editor)
- Special issue "Using and Modeling Context in Applications" of the International Journal Human-Computer Studies, 1998 (à paraître) (Guest editor with Cavalcanti M.)
- Context-Sensitive Decision Support Systems, Chapman & Hall, 1998 (co-editors : Widmeyer G., Berkeley D. & Rajkovic V.)
- Context-Sensitive Decision Support Systems: Supplement papers, LIP6, Research report, 1998 (to appear) (co-editor : Rajkovic V.)
- Formal aspects of context, Kluwer Series, 1998 (à paraître) (co-editor : Cavalcanti M.)

Joab M.,

- Étude d'explications dans un corpus de dialogues finalisés, (co-éditeurs avec M. Baker, B. Safar & D. Schlienger), *Psychologies de l'Interaction*, L'Harmattan, Paris, 9-10, 1999, (à paraître).

de La Passardière B.,

- Actes du séminaire Hypermédias, Education et Formation, Paris, 1996

Pomerol J.-Ch.,

- Implementing Systems for Supporting Management Decisions, Chapman and Hall, 1996 (co-éditeurs : Humphreys P., Bannon L., McCosh A., Migliarese P.)

Organisation scientifique de congrès et colloques

Président de conférence

Baron M.,

- EIAO'97, 5^e Journées EIAO de Cachan, ENS de Cachan, 1997

Brézillon P.,

- International Conference on Successes and Pitfalls of Knowledge-Based Systems in Real-World Applications, Bangkok, 1996
- First International and Interdisciplinary Conference on Modeling and Using Context, CONTEXT-97, Rio de Janeiro, Brasil, 1997
- International IFIP Conference "Context-Sensitive Decision Support Systems", Bled, Slovenia, July 1998 (with Widmeyer G., Berkeley D. & Rajkovic V.)
- Second International and Interdisciplinary Conference on Modeling and Using Context, CONTEXT-99, Trente, Italy, 1999

de La Passardière B.,

- Hypermédias et Apprentissages, Poitiers, 1998

Jaffray J.-Y.,

- Ecole d'été de statistique et recherche opérationnelle, Constanza, 1996
- Journées Risque, Incertitude et Décision, Chantilly, 1997

Joab M.,

- Journées Explication'96, 1996, Sophia-Antipolis (parrainées par le PRC-GDR IA, l'INRIA, l'ARC, l'AFIA et l'AF CET)

Pomerol J.-Ch.,

- Première Conférence Internationale sur les Nouvelles Technologies de l'Information pour la Décision dans le Domaine du Génie Civil, Montréal, 1998

Membre de comité de programme ou de comité scientifique d'un congrès

Baron M.,

- Journées validation des systèmes à base de connaissances (JVAL), 1996
- CAPS'98, Deuxième Conférence Internationale sur l'Apprentissage Personne-Système, Caen, 1998
- NTICF'98, Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication dans les Formations d'Ingénieurs et dans l'Industrie, Rouen, 1998

Brézillon P.,

- International Conference on Successes and Pitfalls of Knowledge-Based Systems in Real-World Applications, Bangkok, 1996
- ISAS'96, International Conference on Information Systems, Analysis and Synthesis, Orlando, USA, 1996
- ECAI 96 Workshop on Applied Semiotics, Bucarest, Hungary, 1996
- ECAI 96 Workshop on GAPS and BRIDGES : New directions in Planning and Natural Language Generation, Bucarest, Hungary, 1996

- International Workshop Distributed Artificial Intelligence and Multi-Agent Systems (DAIMAS'97), St Petersburg, Russia, 1997
- SIC'97, World Conference on Systemics, Informatics, and Cybernetics Globalization, Development and Emerging Economics, Caracas, Venezuela, 1997
- Eleventh International Conference on Industrial & Engineering Applications of Artificial Intelligence & Expert Systems, IEA/AIE-98, Spain, 1998
- IFIP Working Group 8.3 on Context-sensitive decision support systems, Bled, Slovenia, 1998
- IFIP WG 9.4 Working Conference on Implementation and Evaluation of Information Systems in Developing Countries, Bangkok, Thailand, 1998

Chrétienne Ph.,

- EUROPAR'96, Lyon

Dubois O.,

- Thirteenth National Conference on Artificial Intelligence (AAAI'96), Portland, USA, 1996
- International Competition and Symposium on Satisfiability Testing, Beijing, China, 1996
- Deuxième conférence nationale sur la résolution pratique des problèmes NP-Complets, CNPC'96, Dijon, 1996
- ECAI'96 Workshop on Advances in Propositional Deduction, Budapest, Hungary, 1996

Jaffray J.-Y.,

- FUR VIII, Foundations and applications of Utility, Risk and decision theory, Mons, 1997
- Uncertainty in AI, Providence, New York, USA, 1997

Joab M.,

- CAPS'98, Deuxième Conférence Internationale sur l'Apprentissage Personne-Système, Caen, 1998
- NTICF'98, Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication dans les Formations d'Ingénieurs et dans l'Industrie, Rouen, 1998

Labat J.-M.,

- Secondes Rencontres des Jeunes Chercheurs en IA, 1996
- Cinquièmes journées EIAO de Cachan, 1997

de La Passardière B.,

- Hypermédias et Apprentissages, Chatenay-Malabry, 1996, Poitiers, 1998

Perny P.,

- International Conference on Multicriteria Decision Making, FUCAM, Mons, 1997

Pomerol J.-Ch.,

- International Conference on Successes and Pitfalls of Knowledge-Based Systems in Real-World Applications, Bangkok, 1996
- IFIP W.G. 8.3 Working Group International Federation for Information Processing Decision Support Systems, Londres, 1996
- International Conference on Multicriteria Decision Making, FUCAM, Mons, 1997
- ECIS'97, European Conference on Information Systems, Cork, 1997
- FUR VIII, Foundations and applications of Utility, Risk and decision theory, Mons, 1997
- ISDSS 97, International Society on Decision Support Systems annual conference, Lausanne, 1997

- IEPM, International Conference on Industrial Engineering and Production Management, Lyon, 1997
- ECIS'98, European Conference on Information Systems, Aix en Provence, 1998
- CAPS'98, Deuxième Conférence Internationale sur l'Apprentissage Personne-Système, Caen, 1998
- CESA'98, Computational Engineering in Systems Applications (IEEE) Hammamet, Tunisie
- FRANCORO'98, Conférence Francophone de Recherche Opérationnelle, Sousse, Tunisie

Organisation de séminaires

Baron M., Joab M.,

- Environnements interactifs d'apprentissage avec ordinateur, UPMC (en collaboration avec P. Barril) et le groupe Technologies de l'information pour l'éducation et la formation de l'AFCEI (GTIEF jusqu'en 1997)

Baron M.,

- Journée Explications et EIAO, 1996, Paris

Dubois O.,

- Groupe de travail AMI (Algorithmes, Modèles, Informatique graphique) du PRC/GDR
- Groupe de travail RESSAC (Aspects algorithmiques de la résolution de problèmes exprimés à l'aide de contraintes) du PRC/GDR

Jaffray J.-Y.,

- Risque, incertitude et décision (UPMC) (en collaboration avec A. Chateaufort, M. Cohen, Paris I)
- Sciences de la décision (ENPC) (en collaboration avec D. Bouyssou, ESSEC, B. Munier, ENS Cachan)
- Statistique et intelligence artificielle (UPMC) (en collaboration avec I. Tchoumachenko)

Joab M.,

- Groupe Explication (AFCEI, AFIA, PRC IA) (en collaboration avec M. Baker, ENS Lyon, A. Giboin, INRIA, G. Kassel, UTC, B. Safar, LRI, P. Tchoukine, IRIN) jusqu'en 1997

Labat J.-M.,

- L'intelligence en jeu (UPMC)
- Groupe de travail AFCEI IA et jeux de réflexion, comité technique reconnaissances des formes et IA

Munier A., Picouleau C.,

- Groupe de travail Ordonnement du GDR PRS

de La Passardière B.,

- Hypermédias, Education et Formation (en collaboration avec E. Bruillard, IUFM Créteil, G-L. Baron, INRP)

Pomerol J.-Ch.,

- Groupe de travail Gestion des connaissances et décision

Administration de la recherche

Auban A.,

- Chargée de mission pour les activités multimedia et le développement de l'enseignement à distance dans les relations internationales auprès du président (UPMC)
- Directeur de l'Unité de Production Media Sciences, UPMS (UPMC)
- Membre de la commission de spécialistes, section informatique (UPMC)
- Expert européen pour le programme Applications Télématiques 1997-98
- Vice-président d'ATENA (Association pour les Techniques Educatives et les Nouveaux Apprentissages)
- Membre du comité directeur du groupe AFCET Bureautique et Multimedia

Baron M.,

- Membre suppléant de la commission de spécialistes, section informatique (Université du Maine) depuis 1998
- Membre de la commission de spécialistes, section informatique (Université Paris XIII) depuis 1998

Brézillon P.,

- Responsable de l'équipe MUSTIL du LAFORIA (1992-1996)
- Modérateur d'une 'mailing list' sur le contexte (depuis septembre 1995)

Giroire H.,

- Membre du conseil de l'UFR d'informatique (UPMC) (jusqu'en mars 1997)
- Membre de la commission de spécialistes, section informatique (UPMC)

Jaffray J.-Y.,

- Membre du conseil scientifique des thèmes, LIP6
- Membre de la commission de spécialistes, section informatique (UPMC)
- Président de la commission des thèses (UPMC) (depuis octobre 1996)
- Responsable de la formation doctorale et du DEA IRO (UPMC) (jusqu'en 1997)
- Directeur scientifique du programme de coopération universitaire franco-tunisienne pour le projet Modélisation des problèmes de décision (1995-1997)
- Membre du Conseil d'Administration de l'UPMC (depuis mars 1998)

Joab M.,

- Membre de la commission de spécialistes, section informatique jusqu'en 1997 (UPMC)
- Membre du bureau du PRC-GDR IA jusqu'en 1997

Labat J.-M.,

- Vice-directeur du conseil de l'UFR de sciences économiques (Paris 2)
- Membre de la commission de spécialistes, section informatique (Paris 5)
- Membre des commissions de spécialistes (suppléant), section math et informatique et section sciences économiques (Paris 2)
- Membre du conseil scientifique (Paris 2) (jusqu'en 1997)

Leccas D.,

- Membre du CNU
- Membre du conseil d'administration de l'université (UPMC)
- Chargé de mission "Moyens" à la présidence de l'université (UPMC)

– Vice-président B de la commission de spécialistes, section informatique (UPMC)

Mathieu J.,

– Chargé de mission, direction générale du ministère de l'industrie, responsable du secteur logiciels innovants

– Représentant français à la CEE pour les programmes télématique et LRE

– Expert auprès de l'ANVAR

– Co-responsable du DESS ergonomie cognitive et psychologie du travail (Rouen)

– Membre du directoire du GDR sciences cognitives de Paris

Munier A.,

– Membre de la commission de spécialistes, section informatique (UPMC) (jusqu'en 1997)

– Membre de la commission de spécialistes, section informatique (Paris XII)

de La Passardière B.,

– Membre élu et vice-présidente de la 27ème section du CNU (1995-1999)

– Membre de la commission de spécialistes, section informatique (Université du Maine) (depuis 1998)

Perny P.,

– Membre de la commission de spécialistes, section informatique (UPMC) (jusqu'en 1997)

– Membre de la commission de spécialistes, section informatique (Paris 9)

– Responsable adjoint du DEA intelligence artificielle, reconnaissance des formes et applications (UPMC)

– Représentant SPECIF pour la coordination IA du LIP6

Pomerol J.-Ch.,

– Directeur du LAFORIA (jusqu'en décembre 1996)

– Adjoint au Directeur du LIP6 jusqu'en mai 1998

– Chargé de mission au département SPI (CNRS)

– Vice-président de la commission de spécialistes, section informatique (UPMC)

– Vice-président du Conseil Scientifique (UPMC) (depuis mars 1998)

– Membre de la commission de spécialistes, section informatique (Paris 5) (jusqu'en 1998)

Formation par la recherche

Habilitations et thèses (15)

Boufkhad Y., *Aspects algorithmiques et probabilistes du problème de Satisfiabilité*, Thèse d'université, UPMC, 3/12/96, encadré par Dubois O.

Bournaud I.*, *Regroupement conceptuel pour l'organisation de connaissances*, Thèse d'université, UPMC, 4/10/96, encadré par Ganascia J.-G. et Mathieu J.

d'Argence P., *Contribution à l'étude des problèmes d'ordonnement cycliques multidimensionnels*, thèse d'université, UPMC, 23/01/96 encadré par Hanen C. et Chrétienne Ph.

Daddi Moussa A., *Une méthode arborescente pour les problèmes d'ordonnement avec délais de communication*, Thèse d'université, UPMC, 7/11/97, encadrée par Chrétienne Ph.

- Faÿ A.**, *Sur la propagation de l'information dans les réseaux probabilistes*, Thèse d'université, UPMC, 18/12/97, encadrée par Jaffray J.-Y.
- Gélineau L.**, *Contribution à l'étude de problèmes d'ordonnancement avec communications par diffusion*, thèse d'université, UPMC, 17/06/96, encadré par Picouveau C. et Chrétienne Ph.
- Gonzales Ch.**, *Utilités additives : existence et construction*, Thèse d'université, UPMC, 10/12/96, encadré par Jaffray J.-Y.
- Guin N.**, *Reformuler et classer un problème pour le résoudre. L'architecture SYRCLAD et son application à quatre domaines*, Thèse d'université, UPMC, 12/12/97, encadrée par Giroire H. et Tisseau G.
- Labat J.-M.**, *Résolution de problèmes : Interactions entre l'homme et la machine*, Habilitation à Diriger des Recherches, UPMC, 15/12/97, encadrée par Pomerol J.-Ch.
- Moinard C.**, *Évaluation dynamique d'un opérateur pour un système d'entraînement à la conduite d'un dispositif industriel*, Thèse d'université, UPMC, 25/09/96, encadré par Joab M.
- Munier A.**, *Algorithmes approchés pour des problèmes d'ordonnancement avec temps de communication*, Habilitation à Diriger des Recherches, UPMC, 6/12/96, encadrée par Chrétienne Ph.
- Mynard L.**, *Exploration locale oscillante heuristiquement ordonnée*, Thèse d'université, UPMC, 22/01/98, encadrée par Labat J.-M. et Pomerol J.-Ch.
- Ollivier F.**, *Environnement de formation pour l'utilisation de systèmes informatiques spatiaux : application aux bancs de test*, Thèse d'université, UPMC, 7/5/96, encadré par de La Passardière B.
- Pacholczyk J.-M.**, *Vers un modèle de gestion des exceptions*, Thèse d'université, UPMC, 1/04/97, encadré par De Glas M.¹
- Zucker J.-D.***, *Appariements et changements de représentation pour l'apprentissage symbolique*, Thèse d'université, UPMC, 8/01/96, encadré par Mathieu J. et Ganascia J.-G.

¹ Le thème 'Théorie des représentations cognitives' ayant cessé d'exister à la suite du départ de M. De Glas au 31/12/96, les thèses soutenues dans ce thème ont été placées ici par souci d'exhaustivité et de proximité thématique

Projets et contrats

Participation aux grands programmes de recherche nationaux

PRC-GDR Pôle Intelligence Artificielle
 – groupe EIAO (Environnements Interactifs d'Apprentissage avec Ordinateur)
 Responsables scientifiques : M. Baron, M. Vivet, durée : 1995-96,
 financement :
 45 kF,
 Partenaires : CRIN, IMAG, IRIN, IRISA, LIRMM, LIUM, Paris V

Contrats avec les établissements publics

DSCR-Ministère de l'Équipement [Application des réseaux probabilistes à l'analyse et la prévention d'accidents]
 Responsable scientifique : J.-Y. Jaffray, durée : 10/95-5/96, financement :
 65 kF

CTI CNET [Réservation de liaisons temporaires sur réseau haut-débit]
 Responsables scientifiques : P. Chrétienne et C. Picouveau, durée : 10/96-10/97,
 financement : 400 kF

SNECMA/MESR [Ordonnancement avec communication par diffusion]
Responsables scientifiques : P. Chrétienne et C. Picouleau

Contrats industriels

ILOG [Elaboration et test d'algorithmes d'optimisation et d'approximation pour des problèmes d'ordonnancement]
Responsable scientifique : P. Chrétienne, durée : 3/98-3/99, financement : 20 kF

Thomson Training & Simulation
Responsable scientifique : M. Joab, durée: 12/97-12/98, financement : 85 kF
Générateur de cursus pour le simulateur d'entraînement de l'équipage du char Leclerc.

SART [RATP]
Responsable scientifique : P. Brézillon, durée : 96-98, financement : 90KF
Il s'agit de réaliser un gestionnaire d'incidents dans SART, un système d'aide à la régulation du trafic (convention n° 96154)

Contrats internationaux

LUPACS (Environnement et climat n° 0241)
Responsables scientifiques : H. Caetano, A. Doucet, J. Mathieu, durée : 5/96-4/99, financement : 500 kF (en coopération avec le thème RTCD)
Land Use Planning and Chemical Sites
Partenaires : Risoe National Laboratory (DK), Swedish Rescue Services Agency (S), JRC Ispra (I), NCSR Demokritos (G), DEMA (DK), County Board of Sodermanland (S), County Board of West Zealand (DK), Fredericia Community (DK)

LIRIS-Phase 1 : [Étude sur l'ensemble des risques menaçant la Région Métropolitaine de Lisbonne ; Lisbonne et 18 communes environnantes, soit environ 3 millions d'habitants]
Coordinateur scientifique : Municipalité de Lisbonne
Responsable scientifique : H. Caetano, durée : 1998-2000.

Ecariscopio : Réalisation d'un Simulateur de séismes pour la formation de la Protection Civile Municipale de la Ville de Lisbonne, simulateur appliqué à la Colline du château de ST. Jorge, à Lisbonne.
Responsable scientifique : H. Caetano, durée : 1998-1999.

Coopération CNRS-CNRC, CEKA : A methodology for using Context to optimize Explanation and Knowledge Acquisition, Canada
Responsable scientifique : P. Brézillon, durée : 1994-96

UPMC-Université d'Amsterdam, Faculté de Psychologie
Responsables scientifiques : J.-G. Ganascia, P. Perny, durée : 1995-1999*
Co-tutelle de thèse de P. Beys

UPMC-University College Cork, Department of Accounting Finance and Information Systems
Responsable scientifique : J.-Ch. Pomerol, durée : 1995-1999
Co-tutelle de thèse de F. Adam

UPMC-Asian Institute of Technology (AIT), School of environment resources and development
Responsable scientifique : P. Brézillon, durée : 1996-2000

UPMC-Université Fédérale de Rio de Janeiro, Coordination des programmes de post-graduation en Ingénierie
Responsable scientifique : P. Brézillon, durée : 1996-2000

Visiteurs étrangers

- Sadananda Ramakoti, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thaïlande (mai 97)
- Jensen Finn, Aalborg University, Danemark (fév. 98)
- Fodor Janos, Université des sciences agricoles, Institut de mathématiques et d'informatique, Gödöllo, Hongrie (juin/juil. 98)
- Marcos Cavalcanti et Ricardo Naveira, Université Fédérale de Rio de Janeiro, Brésil (juin 97)
- Shafer Glenn, Rutgers University, RUTCOR, USA (sept. 96/juillet 97)

Valorisation de la recherche

Logiciels ou systèmes diffusés par une entreprise ou un organisme

Intempéries

Logiciel de Formation à la Gestion de Catastrophes Naturelles (H. Caetano), diffusé par ISA Technologies

Pour qui sera le dernier pli ?

Logiciel interactif de jeu, expliquant ce qu'est un système expert, exposition permanente EXPLORA et exposition temporaire sur la mesure, Cité des Sciences et de l'Industrie (J.-M. Labat, 1993-1996)

Logiciels ou systèmes non diffusés

DIAGRAL

prototype de système de diagnostic et de réparation (M. Joab, C. Moinard, 1996)

FORMENTOR-Formation

logiciels de formation à la gestion de risques industriels et de la sécurité civile (H. Caetano, J. Mathieu, M. De Glas, 1994-1996).

Contrats gérés par d'autres organismes

Projet GOLF-Math (AT&T Foundation)

Responsable scientifique : A. Auban (associée au thème), durée : 1996-1998 (géré hors du laboratoire)

Global Open Learning Flexible system for Mathematics. Système d'enseignement "sur mesure" individualisé dédié aux mathématiques dès le niveau baccalauréat

Partenaires : Université de Leicester (GB), Université Heerlen (NL)

Algorithmique Numérique et Parallélisme

Minoux Michel

Alt René

Chesneaux Jean-Marie

Encrenaz Emmanuelle

Flavigny Bruno

Jézéquel Fabienne

Lamotte Jean-Luc

Maillé Michel

Morcrette Michèle

Vignes Jean

Professeur UPMC

Professeur, UPMC

Maître de Conférences, UPMC

Maître de Conférences, UPMC

Maître de Conférences, UPMC

Maître de Conférences, Université Paris II

Maître de Conférences, UPMC

Maître de Conférences, UPMC

Maître de Conférences, UPMC

Professeur, UPMC

ITA/IATOS

Saïd Clémentine

Secrétaire, UPMC

Personnel temporaire

Lefebvre Vincent

ATER

Doctorants

Leduc Thomas (Alt, 95)

Montagnac Marc (Chesneaux, 96)

Kort Lamia (Chesneaux, 97)

Pistorius Joachim (Minoux, 96)

Knippel Arnaud (Minoux, 97)

Rahim Fahim (Minoux, 97)

Associés au LIP6

Abadie Jean, Professeur honoraire

Le thème "Algorithmique Numérique et Parallélisme" regroupe les activités consacrées à la validation des logiciels numériques, au développement de logiciels numériques à hautes performances (en particulier pour l'utilisation de calculateurs parallèles ou massivement parallèles), au développement de modèles et d'algorithmes d'optimisation (continue ou discrète) et à la vérification de descriptions comportementales de systèmes logiciels-matériels.

Les principaux axes de développement du thème s'organisent autour de 5 projets de recherche :

- Projet VAN "Validation des Algorithmes Numériques" (responsables : J. Vignes, R. Alt)
- Projet PAN "Parallélisation des Algorithmes Numériques" (responsable : R. Alt)
- Projet VISU "Visualisation des résultats de modélisations numériques" responsables : M. Morcrette, J.L. Lamotte)
- Projet MOS "Modélisation et Optimisation des Systèmes" (responsable : M. Minoux)
- Projet CLOVIS "Conception LOGicielle et Vérification Intégrée de Systèmes" (Responsables : E. Encrenaz, M. Minoux)

Dans le domaine de la *validité numérique* (VAN), le logiciel CADNA vient d'être porté sous PVM sur la CM5 de l'Institut de Physique du globe. A court terme, le nouveau logiciel CADNA-MP (CADNA-Message Passing) doit être testé sur des problèmes de grande taille et une version conviviale doit être produite. À plus long terme une version de CADNA, dite CADNA-CM pour machine parallèle à mémoire commune, sera étudiée. Ceci suppose l'introduction de nouveaux types, les types stochastiques, dans les compilateurs de type HPF (High Performance Fortran).

Des applications du logiciel CADNA vont être poursuivies :

- sur l'analyse de la stabilité numérique de logiciels de simulation d'un spectre de résonance paramagnétique électronique (RPE), en collaboration avec le Service de Chimie Moléculaire : Dr. E. Soulié.
- sur les méthode de type Lanczos pour la résolution de grands systèmes linéaires, en collaboration avec l'Université de Porto, Portugal.
- sur les logiciels de simulation de l'analyse de combustion dans les moteurs à piston (en collaboration avec l'Institut Français du Pétrole) : une thèse a été soutenue en 1995.
- sur l'impact de la superposition d'un chaos numérique dans la simulation numérique des phénomènes physiques chaotiques. Ce travail, débuté depuis quelque temps par J. Vignes, fait l'objet d'une collaboration avec M. Pichat à l'Université de Lyon 1.

Par ailleurs la participation actuelle de plusieurs membres du projet VAN au projet "Arithmétique et Précision" du GDR-ARP dont le responsable est J.-M. Muller (L.I.P. à Lyon) doit aboutir au développement de techniques de calcul, non seulement fiables mais aussi précises.

De plus, un projet de recherche INRIA : FIABLE (Outils pour le calcul numérique fiable) vient de débiter, auquel participent des membres de l'équipe CHPV (J.-M. Chesneaux, F. Jézéquel)

Enfin, sur le plan théorique, la formalisation des concepts et l'étude des propriétés de l'arithmétique stochastique seront activement poursuivies.

Dans le domaine de la *parallélisation d'algorithmes* (PAN) les perspectives concernent principalement le développement d'algorithmes nouveaux ou la parallélisation de méthodes connues dans le domaine de l'algorithmique numérique de manière à obtenir des logiciels sûrs et efficaces adaptés aux supercalculateurs. Pour chaque algorithme on étudiera, entre autres, le type de machine le mieux adapté, la complexité en temps et en espace, le placement des tâches, la répartition et la migration des données, la stabilité et la précision des résultats obtenus.

Actuellement des recherches sont en cours dans le domaine de l'intégration des systèmes différentiels avec un parallélisme des calculs sur le découpage de la variable de temps, contrairement aux méthodes usuelles utilisant un découpage de l'espace.

Sur ce sujet, nous avons proposé une méthode parallèle d'intégration basée sur la collocation. Cette méthode est adaptée aussi bien aux machines parallèles à mémoire commune qu'aux machines distribuées communiquant par passage de messages. Cependant elle doit être développée et comparée avec les méthodes existantes. Des recherches doivent être faites en ce qui concerne notamment :

- le meilleur type d'approximation (polynômes, fractions rationnelles, sommes d'exponentielles) en fonction du problème à résoudre ;
- le placement des données sur les processeurs pour diminuer le volume de communications ;
- ses possibilités et son efficacité sur les grands systèmes différentiels, en particulier ceux provenant de la discrétisation en espace des équations d'évolution. Ce sujet a fait l'objet d'une partie de la thèse de F. Jézéquel soutenue en novembre 1996.

Un troisième projet de recherche débuté depuis moins d'un an est celui de la visualisation des résultats numériques. M. Morcrette et J.-L. Lamotte ont développé des algorithmes et continuent des recherches en vue de leur parallélisation. Le projet VISU est le prolongement naturel des projets VAN et PAN qui s'attachent à améliorer les performances des applications scientifiques aussi bien du point de vue de la rapidité de calcul que de la précision des résultats. Afin d'avoir une vision synthétique, un grand nombre d'applications utilisent des logiciels de visualisation 2D ou 3D afin de visualiser et synthétiser les tableaux de résultats. Ces logiciels présentent cependant une lacune : ils ne permettent pas de visualiser sur le même graphique les résultats et leur précision. Le but du projet VISU consiste donc à rechercher des solutions pour la visualisation de données scientifiques entachées d'erreurs quantifiées au cours des calculs.

Dans le domaine de la *modélisation et de l'optimisation des systèmes* (MOS), il est prévu de poursuivre les recherches sur les problèmes de *partitionnement de graphes* de grande dimension. Un des objectifs sera de généraliser les résultats obtenus (calculs de bornes, heuristiques) sur le partitionnement de graphes au cas du partitionnement d'hypergraphes. Les applications potentielles de ces travaux sont nombreuses en informatique (placement de tâches dans les systèmes multiprocesseurs, compilation d'applications parallèles) et en technologie (problèmes de placement dans les circuits VLSI).

Il est également prévu de poursuivre des recherches concernant l'optimisation des grands systèmes, en particulier la résolution de problèmes de multiflots à coût minimum avec fonctions de coût discontinues (avec applications aux réseaux de télécommunications). On

cherchera à mettre en œuvre et à améliorer les nouvelles relaxations par programmation linéaire généralisée, précédemment définies pour résoudre des problèmes réels issus d'applications concrètes dans le domaine de l'optimisation des réseaux de télécommunications. On cherchera également à améliorer les performances des heuristiques primales afin d'obtenir de meilleures bornes supérieures, et des intervalles de confiance, de largeur aussi réduite que possible.

Dans le domaine de la *vérification intégrée logiciel-matériel* les résultats obtenus dans le cadre du projet CLOVIS ont permis de dégager de nombreuses perspectives de recherche. Cependant, l'analyse des besoins les plus importants des applications suggère l'extension de l'environnement de vérification actuel selon deux directions prioritaires :

- l'exploitation des paramètres décrivant le comportement temporel des systèmes (paramètres déjà inclus dans le modèle formel sous-jacent au système CLOVIS) afin de permettre la vérification automatique de propriétés temporelles quantitatives. La modélisation du temps conduit à un problème de représentation et de manipulation des entiers dans le domaine booléen. En effet, le temps réel est une variable entière, et ses manipulations consistent principalement en des recherches de minimum parmi un nombre fini d'entiers et en des additions ou soustractions de nombres finis d'entiers. Transposer ce modèle dans le domaine booléen revient à rechercher une modélisation des entiers qui puisse être aisément manipulée par une structure de données étendant les BDD (Binary Decision Diagrams), pour les opérations de recherche de minimum et de somme. Un projet de recherche commun sur ce sujet avec le LABRI (Université de Bordeaux I) est en cours de discussion et devrait démarrer avant la fin 1998.
- la possibilité de traiter des systèmes de plus grande taille et/ou de plus forte complexité par la décomposition du processus de vérification selon une méthodologie *d'analyse modulaire*. Les recherches envisagées sur ce sujet concernent, en particulier, les aspects suivants :
 - la *décomposition/recomposition* d'une description comportementale en un ensemble de modules concurrents. Le découpage peut suivre la structuration, si elle existe, de la description, mais il peut également être dépendant du type de propriété à vérifier (propriété locale à un sous-ensemble de signaux, propriété globale nécessitant la représentation de tout le système) ;
 - enfin, la *composition de propriétés locales* afin de valider ou d'invalider des propriétés globales.

La participation de l'équipe au projet inter-thèmes VMAP vise à l'étude de l'interaction des méthodes de vérification et de preuve pour l'analyse de systèmes modulaires.

Bilan synthétique des recherches

Les principaux résultats obtenus au cours de la période 1995-1997 sont les suivants :

Concernant la *validation des algorithmes* numériques, une version parallèle sous PVM du logiciel CADNA a été développée sur la connexion Machine CM5 (Institut de Physique du Globe), par J.-L. Lamotte. Cette version nommée CADNA-MP est opérationnelle sous une forme non définitive et doit être testée, mais offre pour toute machine virtuelle parallèle les mêmes fonctionnalités que CADNA.

Concernant la parallélisation des algorithmes, on peut mentionner :

- le développement d'un nouvel algorithme de calcul de valeurs propres (par

“ réduction additive ”) ;

- la parallélisation d’algorithmes de recuit simulé pour le traitement d’images ;
- l’étude d’une méthode de résolution de systèmes différentiels fondée sur la parallélisation en temps ;
- l’étude de problèmes de placement de tâches en collaboration avec la Société MATRA-MS2I dans le cadre du projet CAPITAN.

Concernant la *modélisation et l’optimisation des systèmes*, les résultats obtenus concernent :

- l’étude de problèmes de partitionnement de graphes et d’hypergraphes : construction de nouvelles relaxations, réalisation d’un générateur de netlists et étude comparative d’algorithmes (thèse en cours de J. Pistorius) ;
- la mise au point d’un algorithme polynomial pour déterminer l’orientation optimale des cellules dans des circuits intégrés “Standard Cell” (1 article de revue internationale en collaboration avec l’université Rutgers, USA) ;
- l’étude de problèmes d’optimisation de réseaux de télécommunications avec fonctions de coût discontinues “ en escalier ” et la mise au point de nouvelles relaxations utilisant des modèles de programmation linéaire de grandes dimensions (1 rapport de recherche, 1 article paru et 1 accepté dans des revues internationales).
- l’étude de propriétés combinatoires dans l’algèbre des semi-anneaux et des dioïdes (3 articles de revues internationales, 1 CRAS).

Concernant la *vérification intégrée logiciel-matériel*, un ensemble d’outils logiciels a été développé qui comprend, en particulier :

- un traducteur automatique de programmes VHDL en réseaux de Petri (outil VPN) ;
- un vérificateur de propriétés exprimées en logique CTL (outil VMC) ;
- un outil de vérification de l’équivalence de deux descriptions différentes d’un même système (outil PSM) ;
- Un logiciel d’abstraction de composants simplifiant la vérification (outil MUST).

Ces réalisations ont donné lieu, sur la période 95 - 98, à deux thèses soutenues, et à 9 articles dans des actes de congrès internationaux. Elles ont d’ores et déjà permis de démontrer la faisabilité d’une approche alliant :

- une automatisation complète du processus de vérification ;
- l’intégration logicielle complète dans l’environnement standard de conception ;
- la transparence des modèles formels et des outils de vérification par rapport à l’utilisateur ;
- l’efficacité concrète des outils de vérification ;
- l’utilisation des méthodes formelles dans d’autres domaines connexes (évaluation de la consommation, synthèse haut niveau, synthèse comportementale).

Projet VAN : Validation des Algorithmes Numériques

J. VIGNES, R. ALT, F. JÉZÉQUEL, J.-M. CHESNEAUX, J.-L. LAMOTTE, A. ASSERRHINE

Le contrôle et la validation des logiciels scientifiques consistent à faire, en cours d'exécution du programme :

- l'analyse de la propagation des erreurs d'arrondi,
- la détection des instabilités numériques en cours de programme,
- le contrôle des tests et des branchements,
- l'estimation de la précision de tout résultat de calcul,
- l'estimation de l'influence des incertitudes des données sur les résultats fournis.

Il existe actuellement deux façons d'aborder ce problème, à savoir : *l'approche déterministe* et *l'approche stochastique*.

L'approche déterministe conduit généralement à des évaluations trop pessimistes de l'erreur et à une sous-estimation importante de la précision. Par ailleurs, elle ne peut être facilement mise en œuvre que sur certaines classes d'algorithmes.

En revanche, l'approche stochastique est la seule qui permette de tenir compte de la compensation des erreurs d'arrondi et de donner une bonne estimation de la précision des résultats.

Dès 1974, J. Vignes et M. La Porte ont proposé les bases d'une méthode d'analyse des erreurs d'arrondi originellement connue sous le nom de méthode de permutation-perturbation et appelée maintenant méthode CESTAC (Contrôle et Estimation STochastique des Arrondis de Calcul). Cette méthode a donné lieu à de nombreuses études théoriques et pratiques et est actuellement source de développements importants.

L'implémentation synchrone de la méthode CESTAC a donné lieu récemment à la définition d'une nouvelle arithmétique appelée *arithmétique stochastique* dont les propriétés sont actuellement en cours d'étude. Elle permet de retrouver, pour les nombres stochastiques, une grande partie des propriétés du corps des nombres réels, propriétés perdues dans l'ensemble des nombres en virgule flottante.

Sous son aspect pratique, la méthode CESTAC a été mise en œuvre dans deux logiciels, l'un en ADA, l'autre en FORTRAN ; ces logiciels appelés CADNA permettent le contrôle du déroulement d'un programme et le débogage de tout logiciel numérique écrit dans les langages précités. L'utilisation de ce logiciel et ses applications dans les trois classes d'algorithmes numériques (méthodes finies, méthodes itératives, méthodes approchées) est source de nombreux travaux actuels et à venir.

L'implémentation de la méthode CESTAC pour des logiciels parallèles ou distribués a fait l'objet de la thèse de Abdeljalil Asserrhine qui a été soutenue en mai 1996. Les logiciels prototypes correspondants ont été implantés en Occam sur T-Node (32 Transputers T800) et en Fortran 90 sur CM5.

Par ailleurs une version parallèle sous PVM du logiciel CADNA a été développée sur la Connexion Machine CM5 par J.-L. LAMOTTE. Cette version nommée CADNA-MP est opérationnelle sous une forme non définitive et doit être testée, mais offre pour toute machine virtuelle parallèle les mêmes fonctionnalités que CADNA.

Le logiciel CADNA a permis de résoudre certains problèmes d'instabilités en particulier :

- dans le cas de la méthode de Rayleigh-Watermann en Mécanique (en collaboration avec l'UFR de Mécanique de l'Université Paris 6),
- dans certains logiciels de simulation de l'analyse de la combustion dans les moteurs à piston (en collaboration avec l'Institut Français du Pétrole). Une thèse de l'Université Paris 6 a été soutenue sur ce sujet.

Projet PAN : Parallélisation des Algorithmes Numériques

R. ALT, J.-L. LAMOTTE, F. JÉZÉQUEL, D. THIBAU, T. LEDUC

Ce projet consiste à développer des logiciels de calcul scientifique adaptés aux supercalculateurs parallèles ou distribués. Les principaux axes de ce projet sont :

- la parallélisation d'algorithmes existants,
- la proposition d'algorithmes nouveaux,
- l'étude de l'adéquation de la structure des algorithmes aux architectures des machines et vice-versa,
- l'étude de la complexité en nombre d'opérations et espace mémoire,
- l'étude du placement des tâches sur les processeurs et les possibilités de reconfiguration en vue d'une possible tolérance aux pannes,
- la précision et la fiabilité des résultats numériques obtenus.

Les principaux résultats obtenus dans ce domaine ont été :

- en algèbre linéaire, un nouvel algorithme de calcul des valeurs propres de matrices a été proposé. Cet algorithme dit de réduction additive (RA) consiste en une décomposition additive de la matrice au lieu d'une décomposition multiplicative comme dans l'algorithme LR de Rutishauser ou l'algorithme QR. La décomposition additive telle qu'elle est proposée permet une parallélisation plus aisée et une utilisation intensive des BLAS (Basic Linear Array Subroutines). La convergence de cette méthode apparaît comparable à celle de l'algorithme QR ;
- dans le domaine du traitement d'images, l'étude et la parallélisation sur machine à mémoire distribuée de plusieurs algorithmes de recuit simulé a été faite (J.-L. Lamotte) ;
- dans le domaine des systèmes différentiels, une adaptation d'une ancienne méthode, dite de collocation a été proposée pour la parallélisation en temps (R. Alt). Jusqu'à présent, la plupart des méthodes parallèles pour les systèmes différentiels utilisaient une parallélisation en espace. La parallélisation en temps proposée est basée sur une interpolation de la solution cherchée sur un grand nombre de points. L'utilisation et l'adaptation de ce type de méthode pour les équations d'évolution sont une partie de la thèse de F. Jézéquel ;
- dans un domaine différent mais toujours relié à la validation des méthodes implantées sur supercalculateurs, des recherches ont été menées sur les problèmes de tolérance aux pannes et de placement de tâches dans le cadre du projet Capitan (Calculateur Parallèle pour l'Imagerie, le Traitement du Signal et l'Analyse

Numérique) développé par la Société MATRA MS2I. Ces problèmes sont particulièrement difficiles ici en raison de l'hétérogénéité du calculateur parallèle Capitan. Ce travail fait l'objet de la thèse de D. Thibau, soutenue le 12 mai 1997.

Projet VISU : VISUalisation des résultats de modélisations numériques

M. MORCLETTE, J.-L. LAMOTTE, TH. LEDUC, R. ALT.

Pour valider les simulations parallèles discrètes du phénomène géotectonique, qui ont été étudiées par Thomas Leduc, ce dernier a eu recours à un traitement et un post-traitement graphique de ses résultats numériques. Ainsi, en ce qui concerne le traitement, un serveur (en l'occurrence, l'un des 256 processeurs de calcul du Cray T3E utilisé) se charge de collecter les portions d'images réparties sur chacun des clients. Ces clients, disposés selon une " topologie cartésienne " de processus, alimentent le serveur après calculs et à intervalle de temps réguliers, tandis que le serveur se charge de l'écriture sur disque des images reconstituées, au format SunRaster. Le post-traitement graphique s'effectue sur une Silicon Graphics quadri-processeurs et consiste en la création d'un film au format MPEG à partir des fichiers SunRaster, en utilisant l'utilitaire Convert du logiciel ImageMagick.

Il pourrait être intéressant, à terme, d'envisager un traitement conversationnel des résultats graphiques, c'est-à-dire, de faire en sorte que le serveur graphique restitue, en temps réel les images collectées et les fasse " défiler à l'écran ".

Projet MOS : Modélisation et Optimisation des Systèmes

M. MINOUX, E. ENCRENAZ, V. GABREL, A. KNIPPEL, J. PISTORIUS, F. RAHIM

Les principaux objectifs poursuivis concernent le développement d'outils théoriques et algorithmiques nouveaux pour la résolution de problèmes d'optimisation discrète et continue, ainsi que leur application à des problèmes concrets issus de domaines variés tels que : systèmes informatiques (conception et optimisation d'architectures parallèles), réseaux de télécommunications, conception assistée en technologie, traitement algorithmique de l'information, aide à la décision (méthodes quantitatives), modèles de réseaux de Petri pour la vérification de systèmes, optimisation de la consommation de circuits VLSI.

Du point de vue théorique, les principaux domaines abordés concernent :

- la théorie des graphes, la résolution de problèmes combinatoires ;
- la modélisation et l'analyse de systèmes dynamiques par réseaux de Petri ;
- la programmation linéaire et non-linéaire (programmation mathématique) ;
- l'algorithmique numérique et non numérique.

Les recherches en cours sont orientées suivant deux axes principaux :

- la résolution de problèmes combinatoires appliqués à la technologie ;
- l'optimisation de grands systèmes.

Les résultats obtenus concernent en particulier :

- La résolution de problèmes de placement et de routage dans les circuits intégrés. Une collaboration (en cours) avec l'Université Rutgers (USA) a conduit à la mise au point d'un algorithme polynomial pour l'orientation optimale des cellules afin de minimiser la surface d'un circuit en technologie " Standard Cell " à nombre borné de canaux (1 article de revue internationale accepté).

- Dans le domaine de l'optimisation de grands systèmes des travaux de recherche ont été menés sur la résolution de problèmes de multiflots à coût minimum avec fonctions de coût discontinues "en escalier" qui apparaissent typiquement dans le domaine de l'optimisation des réseaux des télécommunications. Une famille de relaxations utilisant des modèles de programmation linéaire de grandes dimensions a été mise en évidence (V. Gabrel et M. Minoux). La résolution (exacte) des programmes linéaires relaxés peut être obtenue par une technique originale, combinant programmation linéaire généralisée et programmation dynamique. Des résultats de calculs préliminaires sur des exemples réalistes ont montré que cette approche conduit à des évaluations par défaut (minorants) ne s'écartant pas de plus de 10 - 20% des valeurs optimales exactes (inconnues). Par ailleurs on a pu mettre en évidence des améliorations significatives par rapport aux relaxations construites par convexification des fonctions de coût (1 rapport de recherche, 1 article publié et 1 accepté dans des revues internationales).
- La recherche d'algorithmes performants pour la résolution de grands problèmes d'optimisation linéaires-quadratiques a fait l'objet du travail de thèse de S. Tricot (thèse soutenue le 5 avril 1996). Différentes méthodes simpliciales ont été étudiées, et un important travail de mise en œuvre numérique a été entrepris.
- Une étude sur les propriétés combinatoires de l'algèbre des semi-anneaux, a conduit à une généralisation de plusieurs résultats classiques de la théorie des graphes : le " Matrix Tree Theorem " de Tutte et Borchardt, le " All Minors Matrix Tree Theorem " de Chen (1976), et la caractérisation des valeurs propres et des fonctionnelles propres en analyse Min-Max (3 articles de revues internationales, 1 CRAS).
- L'évaluation du facteur d'activité d'un circuit VLSI décrit en VHDL en vue de la synthèse haut niveau optimisant la consommation et l'activité d'un circuit VLSI décrit en VHDL (Projet en cours avec l'ISEP sous la direction de Amara Amara et Fahim Rahim).

Projet CLOVIS : Conception Logicielle et Vérification Intégrée de Systèmes

E. ENCRENAZ, R. BAWA, F. RAHIM, M. MINOUX

Les recherches menées depuis 1993 visent à développer une méthodologie ainsi qu'un ensemble d'outils de vérification de systèmes matériels pouvant être utilisés dans les différentes phases de conception d'un système matériel, de la description comportementale à la description logique, en passant par la description au niveau " transfert de registres ".

Un premier prototype couvrant l'ensemble de la chaîne logicielle de vérification a été réalisé par E. Encrenaz et R. Bawa. Il comprend les modules suivants :

- VPN : traducteur automatique de programmes VHDL en réseaux de Petri, selon le modèle formel des réseaux de Petri interprétés et temporisés, défini dans la thèse d'E. Encrenaz (les réseaux obtenus sont préalablement réduits par l'application de règles de réduction préservant la sémantique du programme initial).
- VMC : vérification automatique de propriétés exprimées à partir des huit opérateurs de base de la logique CTL. Les algorithmes de vérification sont appliqués sur une représentation compacte des équations de transition symbolique préalablement extraites du réseau de Petri.

- PSM : vérification automatique de l'équivalence de deux descriptions différentes d'un même système décrit en VHDL (les algorithmes de vérification étant, là encore, appliqués aux représentations compactes).

Bien que cet ensemble logiciel prototype ne présente pas encore toutes les commodités d'utilisation souhaitables dans un environnement de conception opérationnel, il démontre la faisabilité d'une approche répondant aux principaux objectifs suivants :

- *Automatisation complète du processus de vérification* à partir de la description comportementale familière aux ingénieurs concepteurs de systèmes matériels ;
- *Intégration logicielle complète* des outils de vérification dans l'environnement standard de conception ;
- *Transparence complète des modèles formels et des outils de vérification par rapport à l'utilisateur* : l'ingénieur concepteur n'a à intervenir à aucun moment dans le processus de vérification et peut ignorer totalement les représentations internes (les modèles) manipulées par les outils de vérification ; il peut donc conserver son environnement et ses méthodes habituels de travail ;
- *Efficacité des outils de vérification* : elle est obtenue, en particulier, grâce à une représentation compacte et bien adaptée des systèmes de transition modélisant le comportement du système. Ainsi le prototype logiciel actuel a permis d'obtenir les premiers résultats de validation en mode " tout automatique ", pour de nombreux exemples de la littérature : preuves de bon fonctionnement d'arbitres de bus, de protocoles de communication ; preuves de propriétés de stabilisation de systèmes rebouclés ; preuves de l'équivalence de deux descriptions du contrôleur du processeur DLX (programme de plus de 1500 lignes de code VHDL, preuve obtenue en environ 15 secondes).

Depuis 1997, les recherches se sont orientées vers la vérification modulaire de systèmes matériels : il s'agit alors de considérer le système comme une interconnexion de composants plus élémentaires, et de réduire chaque composant avant de construire le système global. Les règles de réduction doivent préserver : (1) la propriété que l'on souhaite vérifier (exprimée en CTL) ; (2) la sémantique de composition des composants élémentaires. Ces travaux ont donné lieu à 1 rapport de recherche, 2 publications dans des conférences internationales et le développement d'un outil de réduction de chaque composant (outil MUST).

Publications

Livres (2)

Chesneaux J.-M., Vignes J. et al., (rédaction collégiale), *Qualité des Calculs sur Ordinateurs, " Vers des arithmétiques plus fiables "*, Masson, Paris, 1997.

Gondran M., Minoux M., *Graphes et Algorithmes*, Troisième Édition revue et augmentée, Eyrolles, Paris, 1995.

Publications parues dans des revues, notoriété importante (12)

Alt R., Vignes J., Validation of results of collocation methods for ODEs with the CADNA library, *Appl .Num Maths*, 20 (1996) pp 1, 21.

- Boros E., Hammer P.L., **Minoux M.**, Rader D., Optimal Cell Flipping to Minimize Channel Density in VLSI Design and Pseudo-Boolean Optimization, in *Discrete Applied Mathematics* (1998) (à paraître).
- Chesneaux J.-M.**, Matos A., Breakdown and near-breakdown control in the CGS algorithm using stochastic arithmetic, *Num. Alg.* , 11 (1996) pp. 99-116.
- Gabrel V., **Minoux M.**, LP Relaxations better Convexification for Multicommodity Network Optimization Problems with Step Increasing Cost Functions, invited paper in *Acta Mathematica Vietnamica*, vol.22, n°1 (1997), pp. 123-145.
- Gondran M., **Minoux M.**, Eigenvalues and Eigenfunctionals of Diagonally Dominant Endomorphisms in Min-Max Analysis, *Linear Algebra and its Appl.* (1998) (accepté).
- Gondran M., **Minoux M.**, Valeurs propres et fonctions propres d'endomorphismes à diagonale dominante en analyse Min-Max, *C.R.A.S., Paris*, t. 325, série I, (1997) pp. 1287-1290.
- Lamotte J.-L.**, Delay F., On the Stability of 2D-interpolation algorithms with uncertain data, *Maths. and Comp. in Simul*, Vol 43, n° 2 (1997) pp. 183-201.
- Maculan N., **Minoux M.**, Plateau G., An $O(n)$ Algorithm for Projecting a Vector on the Intersection of a Hyperplane and R^n , *RAIRO-Recherche Opérationnelle*, vol.31, n°1 (1997) pp.7-16.
- Minoux M.**, A Generalization of the All Minors Matrix Tree Theorem to Semirings. *Discrete Mathematics*. (1998) (accepté).
- Minoux M.**, Bideterminants, Arborescences and Extension of the Matrix-Tree Theorem to Semirings, *Discrete Mathematics 171*, (1997) pp.191-200.
- Minoux M.**, Mavrocordatos P., Relaxations and Upper Bounds for Maximum Constraint Satisfaction. Application to Large Frequency Assignment Problems., in *Encyclopedia of Optimization* (C.A. Floudas, P.M. Pardalos eds), *Kluwer* (1998) (à paraître).
- Pichat M., **Vignes J.**, Validité des résultats numériques dans les processus à comportement chaotique. Un outil d'évaluation : le logiciel CADNA, *C.R.A.S., Paris*, t. 322, Série II b, (1996) pp. 681-688.

Publications parues dans des revues, notoriété courante (1)

- Chesneaux J.-M.**, Jézéquel F., Dynamical control of computations using the trapezoidal and Simpson's rules, *JUCS*, vol.4, No 1, (1998), pp. 2-10.

Publications dans des actes de congrès ou des ouvrages de synthèse, notoriété importante (10)

- Alt R.**, On the optimal solution of collocation methods for ODEs; *Proc CESA'96 Multiconference on computational Engineering in Systems and Applications*, Lille (1996) pp 1128-1133.
- Alt R.**, **Lamotte J.-L.**, Parallel integration across time of initial value problems using PVM, *Proceedings of the third european conference EuroPVM'96, (1996,)* Munich, Lecture notes in Computer Sciences, 1156, Springer, pp 323-326.
- Alt R.**, Parameter identification with uncertain data and floating-point arithmetic. *Proceedings First Congress on Math. Models and Methods Approach to Biology and Medicine*, Alicante (Spain), (1997).
- Bawa R.-K.**, **Encrenaz E.**, "Formal Verification of VHDL Descriptions by Symbolic State Space Exploration applied to Finite State Machines", actes de VHDL International Users Forum Spring'96, Santa Clara, U.S.A. (1996) pp 115-124, .

- Chesneaux J.-M.**, Troff B., Computational Stability Study Using the CADNA Software Applied to the Navier-Stokes Solver PEGASE. *Scientific Computing and Validated Numerics*, G. Alefeld and A. Frommer Editors, Akademie Verlag, (1996) pp. 84-90.
- Chesneaux J.-M.**, On the Probability of the Confidence Interval of the CESTAC Method. *Proceedings of the XVth World IMACS Congress*, Berlin, (1997).
- Chesneaux J.-M.**, Dynamical Numerical Validation of Quadrature Methods, *Proceedings of SCAN'97*, Lyon, (1997) Vol.II, pp.17-20.
- Jézéquel F.**, A time and space parallel algorithm for the heat equation : the implicit collocation method, *Proceedings of the Congress Euro-Par'96*, Lyon, (1996).
- Rahim-Sarwary F., Encrenaz E., Minoux M., Bawa R.**, Modular Model-Checking of VLSI Design Described in VHDL. *Actes de Int. Conf. On Computer and their Applications*, U.S.A., march 1998
- Rahim-Sarwary F., Bawa R., Amara A.**, VHDL Based formal verification of 32 bit RISC Pipelined Processor , *Proc. of IEEE/ACM Workshop on Logic Synthesis (IWLS '98)*, U.S.A., juin 1998

Publications dans des actes de congrès ou des ouvrages de synthèse, notoriété courante (8)

- Alt R., Lamotte J.-L.**, On the Evaluation of Functional Ranges Using a Random Interval Arithmetic, *Proceedings of the International Congress INTERVAL'96*, Wuerzburg, (1996).
- Asserrhine A., Chesneaux J.-M., Lamotte J.-L.**, Estimation des erreurs d'arrondi sur différentes architectures informatiques, *Proceedings of the congress Real Numbers and Computers*, Saint-Etienne, (1995).
- Bawa R.-K., Encrenaz E.**, "VMC" : A tool for Model Checking VHDL descriptions, actes de VHDL User Forum in Europe SIG-VHDL Spring'96 working conference, Dresden, Allemagne (1996).
- Bawa R.-K., Encrenaz E.**, A Platform for the Formal Verification of VHDL Programs, *Actes de SMACD'96* (4th International Workshop on Symbolic Methods and Applications in Circuit Design), Heverlee, Belgique, (1996).
- Bawa R.-K., Encrenaz E.**, A Tool for Translation of VHDL descriptions into a Formal Model and its Application to Formal Verification and Synthesis, *Actes de FTRTFT'96* (4th International Symposium on Formal Techniques in Real-Time and Fault-Tolerant Systems), Uppsala, Suède, LNCS 1135, Springer-Verlag, (présentation de la chaîne d'outils) (1996) pp. 471-474.
- Evans A., Encrenaz E., Bawa R.-K., Jacomme L.**, An approach to the synthesis of VHDL concurrent processes as a FSM, *Proc. IFIP WG 10.5*, Workshop on Logic and Architecture Synthesis, Grenoble, France, (1995).
- Jézéquel F.**, Propagation de l'erreur d'arrondi lors de la résolution de l'équation des ondes. *Proceedings of the Congress Real Numbers and Computers*, Marseille (1996).
- Vignes J.**, A Stochastic Approach to the Analysis of Round-Off Error Propagation - A Survey of the CESTAC Method. *Invited paper. Proceedings of Real numbers and Computer Conference*. Marseille, (1996).

Logiciels diffusés par des entreprises (1)

- CADNA, (Control of Accuracy and Debugging for Numerical Applications)
- Chesneaux J.-M., Vignes J.**, Ce logiciel permet d'estimer l'effet des erreurs d'arrondi de l'arithmétique virgule flottante et des incertitudes des données sur tout résultat de logiciels numériques. Il permet également de faire le débogage numérique de tout programme de calcul scientifique écrit en Fortran, la version pour programme C++ est en cours de test.

Sociétés distributrices :
Société FLE : contact : Mr Lemay, 175, rue J.-J. Rousseau, 92130 Issy-les-Moulineaux, France , Tél. 33 (0)1 41 46 15 80, Fax : 33 (0)1 46 44 04 82
Société AERO : contact : Mr Chauvet, 56, rue Roger Salengro, 94126 Fontenay sous Bois, France, Tél. 33 (0)1 45 14 13 13, Fax : 33 (0)1 48 75 21 30

Divers et rapports de recherche (3)

Gabrel V., **Minoux M.**, *Large scale LP relaxations for minimum cost multicommodity flow problems with step increasing cost functions and computational results*, RR MASI 96/17, juin 1996.

Rahim F., Encrenaz E., *Property-Dependant bisimulation for compositional Model Checking*, RR LIP6- 1997-028, novembre 1997.

Thibau D., *Automatic dependability evaluation of a parallel application. Fault-tolerant Workshop of the Esprit Project CLEOPATRA*, Munich, Allemagne, may 1995.

Animation de la recherche

Activités éditoriales

Vignes J.

- Editions Technip, Paris (Directeur de la collection Informatique)
- Applied Numerical Mathematics (Editorial Board)
- Mathematics and Computer in Simulation (Editorial Board)
- Numerical Algorithms (Editorial Board)
- Treatment in Signal (Comité de lecture)

Minoux M.

- Telecommunications Systems (Editorial Board)
- RAIRO-Recherche Opérationnelle (comité de rédaction)
- Operations Research (Editorial Board)
- Mathematics of Industrial Systems (Editorial Board)
- Ricerca Operativa (comité de rédaction)
- Investigación Operativa (comité de rédaction).

Organisation scientifique de congrès et colloques

Chesneaux J.M., Muller J.-M., Erhel J.

- Organisation de la Première Journée sur la Qualité Numérique des Logiciels, Université Pierre et Marie Curie, 3 avril 1997.
- Organisation du Congrès RNC3. Real Number and Computers N°3, Paris, avril 1998 (J. Vignes, J.M. Chesneaux, J.-L. Lamotte, F. Jézéquel, C. Saïd).

Membres de Comité de Programme

Alt R.

- First Congress on Mathematical Models and Methods Applied to Biology and Medicine, Alicante, Espagne, 30 juin - 3 juillet 1997.

- SCI'97, Architecture tools algorithms for parallels and distributed computation, Caracas, juillet 1997.
- RNC3, Real Numbers and Computers, Paris, 27, 28, 29 avril 1998.

Minoux M.

- 4th INFORMS, Telecommunication Conference, Boca Raton, Florida, March 8-11, 1998
- CESA'98 (IMACS-IEEE/SMCC Multiconference), Tunisie, 1-4 avril 1998.
- FRANCO II, Tunisie, 6-8 avril 1998.

Président de session

Vignes J.

- 15th IMACS World Congress, Berlin, Allemagne, session : Error Analysis in Computing Validity of Numerical Software, 29 août 1997.

Alt R.

- CESA'98 IMACS Multiconference, session : Modelization of Physical Phenomena, Hammamet (Tunisie), 1998.

Organisateur et Président de session

Vignes J.

- CESA'96 IMACS Multiconference, session : Numerical Software Validation, Lille, 9/12 juillet 1996.

Formation par la recherche

Habilitation et thèses (5)

- Asserrhine A.**, *Implémentation de l'arithmétique aléatoire sur machines distribuées, et application*, Thèse d'Université UPMC, 14/06/1996, encadrée par R.Alt.
- Bawa R.**, *Un environnement intégré pour la vérification formelle et l'analyse de programmes VHDL*, Thèse d'Université UPMC, 12/12/1996, encadrée par M. Minoux
- Jézéquel F.**, *Parallélisation en temps et en espace de la résolution d'équations d'évolution, contrôle de la solution*, Thèse d'Université UPMC, 28/11/1996, encadrée par R.Alt.
- Thibau D.**, *Sûreté de fonctionnement des systèmes répartis, Méthodologie et mise en œuvre*, Thèse d'Université UPMC, 12/05/1997, encadrée par R.Alt.
- Tricot S.**, *Analyse comparative et mise en œuvre numérique d'algorithmiques de programmation quadratique sous contraintes linéaires*. Thèse d'Université, UPMC, 5/04/1996, encadrée par M. Minoux.

Projets et contrats

Participation aux grands programmes de recherche nationaux

- PRC-GDR Pôle Réseaux et Systèmes
- Arithmétique des ordinateurs
 - Participants : J.-M. Chesneaux, R. Alt, J. Vignes.

Projet FIABLE : INRIA

— Participants : J.-M. Chesneaux, F. Jézéquel.

— Participation au nouveau Pôle Dassault Aviation/U.P.M.C. (1998).

Contrats industriels

Institut Français du Pétrole (IFP)

Responsable scientifique : R. Alt, durée : 01/95 - 31/12/95, financement : 25 KF

Contrôle numérique des codes d'ondes acoustiques C1D et C2D.

ONERA

Responsable scientifique : J.-M. Chesneaux, durée : 01/95 – 03/95,
financement : 10 KF

Etude de la stabilité numérique du code PEGASE.

EDF

Responsable scientifique : J.-M. Chesneaux, durée : 04/95 – 06/95,
financement : 20 KF.

Etude de la stabilité numérique du code BENCHMARK de l'EDF

INSTITUT SIMON LAPLACE :

Responsable scientifique : J.-M. Chesneaux et F. Jézéquel, durée : 09/97-01/98,
financement : 30 KF.

METASYSTEMS

Responsable scientifique : M. Minoux, durée : 10/96 – 10/99, financement :
200 KF.

Algorithmes de partitionnement pour la Meta Machine.

Contrats internationaux

Accord de recherche bilatéral entre l'Académie des Sciences de Bulgarie (Prof. S. Markov) et le thème ANP (Prof. R. Alt) – projet CNRS N°5360.

Participation au projet Européen ALFA reliant 3 Universités Européennes (Paris VI, Barcelone, Edimbourg) et 3 Universités d'Amérique Latine (Mexico, Caracas, Santiago de Chili) pour des développements de recherche commune et des co-directions de thèse.

Visiteurs étrangers

— Toutounian Faezeh, Université de Mashad, Iran (avril-sept. 96)

— Markov Svetoslav, Académie des Sciences de Bulgarie, Sofia, Bulgarie (mai 96)

— Boros E., Rutgers University, juin 1996.

— Tuy H., Académie des Sciences du Vietnam, mars 98 et avril 98.

Calcul Formel

Lazard Daniel

Faugère Jean-Charles
Ménissier-Morain Valérie
Gil-Delessalle Isabelle
Pelletier-Koskas Maryse¹
Rioboo Renaud
Soria Michèle¹
Valibouze Annick

Professeur, UPMC
Chargé de recherches, CNRS
Maître de Conférences, UPMC
Maître de Conférences, CNAM
Maître de Conférences, UPMC
Maître de Conférences, UPMC
Professeur, UPMC
Professeur², UPMC

ITA-ATOS

Massot David³
Frénod Jean-Michel³

Agent administratif, CDD UPMC
Ingénieur d'études, CNRS

Personnel temporaire

Rebufat François
Aubry Philippe (Lazard, 95)

ATER, UPMC
ATER, UPMC

Doctorants présents 80% du temps au LIP6

Abdeljaouad Inès (Valibouze, 96)
Alexandre Guillaume (Lazard/Hardin, 94)
Chabaud Cyrille (Soria, 94, SN en 96-97)¹
Kotsireas Ilias (Lazard, 95)
Quéré-Stulchik Marie-Pierre (Villard/Lazard,

94)
Rennert Nicolas (Valibouze, 96)
Victor Marc (Faugère/Lazard, 94)
Safey El Din Mohab (Lazard 97)

1 Arrivés dans le thème en mai 1997

2 Au 1/9/97

3 Partagé avec le thème SPI.

L'activité du thème est centrée autour du calcul formel, et plus spécialement du problème fondamental de la résolution des systèmes d'équations polynomiales.

Cependant, en raison de la largeur du sujet, de la diversification de l'activité des membres du thème et de l'arrivée de nouveaux membres, la thématique du thème a tendance à s'élargir.

Grâce notamment aux résultats de J.-Ch. Faugère, le cas des systèmes n'ayant qu'un nombre fini de solutions et le calcul de bases de Gröbner est en passe d'être résolu d'une manière satisfaisante sur le plan pratique. Les logiciels qu'il met au point étant plus efficaces de plusieurs ordres de grandeur que leurs concurrents, il est important de continuer à développer les applications non académiques de notre avance technologique.

C'est dans ce cadre que s'insère notre collaboration au projet MPC du LIP6, dont l'objectif est d'acquérir les moyens nécessaires à la résolution des problèmes qui restent inaccessibles malgré les progrès algorithmiques.

L'activité algorithmique du thème va continuer à s'orienter vers les problèmes moins bien résolus, c'est-à-dire les systèmes ayant une infinité de solutions et les systèmes sur les réels avec inégalités.

Parallèlement, l'activité relative aux systèmes de calcul formel, centrée autour d'Axiom va se poursuivre, notamment, en liaison avec le thème SPI du LIP6, par la recherche de la possibilité de prouver effectivement les algorithmes de base du calcul formel tels qu'implantés dans le système de calcul formel Axiom.

Le groupe constitué par A. Valibouze et ses doctorants est la principale équipe de recherche française en théorie des groupes informatique. Ces recherches sont importantes pour la simplification des solutions des systèmes ; mais elles vont bien au-delà, et ce domaine de recherche mérite d'être approfondi, avec une relative indépendance de notre thématique principale.

L'intégration récente de M. Soria est une occasion de relancer les recherches théoriques sur la complexité en calcul formel, domaine auquel le responsable du thème a beaucoup contribué dans le passé, mais qui est passé au second plan derrière la problématique d'obtenir des réalisations réellement efficaces.

Bilan synthétique des recherches

Bases de Gröbner et applications

Les principaux succès du thème se situent autour des travaux de J.-Ch. Faugère : le logiciel Gb qui lui a valu le prix Seymour Cray en 1994 reste, à ce jour, le plus rapide et le plus complet pour la résolution des systèmes d'équations polynomiales.

Ce travail a été continué d'une part en direction des applications. Gb a été très largement utilisé dans nos travaux sur les robots parallèles, publiés dans des colloques et revues de robotique. Une autre application, à la compression d'images, a été réalisée en collaboration avec l'IRMAR de Rennes et le CCETT de Lannion, et a abouti au dépôt d'un brevet (Faugère et al., 1997).

D'autre part, J.-Ch. Faugère a découvert et implanté de nouveaux algorithmes qui améliorent de plusieurs ordres de grandeurs les performances de Gb.

Autres aspects de la résolution

En parallèle avec ces travaux sur les bases de Gröbner, le thème a exploré les autres approches de la résolution des systèmes algébriques, nécessaires dans les cas où les bases de Gröbner ne constituent pas le bon outil.

M. Moreno-Maza a implanté en Axiom et amélioré un algorithme de résolution en terme d'ensembles triangulaires (Lazard, 1991) dont la difficulté d'implantation avait déjà rebuté plusieurs tentatives. Alors que plusieurs optimisations sont connues et pas encore implantées, cet algorithme s'avère déjà un des deux meilleurs du domaine.

Ces techniques sont voisines de celles de l'algèbre différentielle, et ceci a conduit le thème à collaborer avec le LIFL (Lille) et le LMC (Grenoble), collaborations qui ont conduit, d'une part, à la soutenance d'une thèse co-encadrée avec G. Villard (Grenoble), d'autre part, à la mise au point par F. Boulier (Lille) du premier algorithme effectif de décomposition des idéaux différentiels.

R. Rioboo a continué ses travaux sur l'arithmétique des nombres réels algébriques et des infinitésimaux algébriques. Ces arithmétiques semblent indispensables en vue de l'obtention d'algorithmes efficaces pour les problèmes en nombres réels avec inégalités.

Ces travaux et ceux de M. Moreno-Maza ont nécessité un algorithme de sous-résultants pour le calcul des pgcd de polynômes à coefficients dans une tour d'extensions de corps.

Ces travaux se sont également prolongés vers la géométrie algorithmique proprement dite avec la thèse de F. Rebufat, co-encadré avec J.-J. Risler (Centre de Mathématiques de Jussieu), consacrée au placement de polygones curvilignes.

Théorie de Galois effective

Les recherches initialisées par A. Valibouze, en collaboration avec J.-M. Arnaudiès (Centre de Math. de Jussieu), ont abouti à des programmes de calcul complet des groupes de Galois des polynômes de degré inférieur ou égal à 11.

Ces travaux, qui utilisent fortement les résolvantes, ont été étendus en une étude systématique de celles-ci et des interactions qu'elles engendrent entre la théorie des groupes, la combinatoire du groupe symétrique, la théorie des invariants, la théorie des idéaux, la factorisation des idéaux, et la résolution de systèmes polynomiaux.

Ils ont conduit à des applications pratiques aux algorithmes de factorisation et de simplification de polynômes, ainsi qu'à la résolution des systèmes polynomiaux invariants par certaines symétries.

Preuves en calcul formel :

Le thème participe très activement au projet inter-thèmes FOC et à l'action incitative INRIA qui en est issue. Cette participation est principalement le fait de R. Rioboo et V. Ménessier-Morain.

Bases de Gröbner

C. FAUGÈRE, D. LAZARD, M. VICTOR

Après la thèse de J.-Ch. Faugère (1994) et le prix Seymour Cray 1994 qu'elle lui a valu, l'activité de l'équipe dans ce domaine s'est diversifiée dans trois directions : en premier lieu, consolidation du logiciel Gb par l'introduction de nouvelles fonctionnalités telles que les ordres d'éliminations (M. Victor) ou de progrès algorithmiques découverts ailleurs. Ensuite une activité d'application décrite plus bas ; celle-ci, outre son intérêt propre, est indispensable pour déterminer les optimisations et améliorations qui sont nécessaires aux algorithmes existants. Enfin, développement et implantation de nouveaux algorithmes. Ces algorithmes ne font encore l'objet que de publication restreinte (thèse de J.-Ch. Faugère pour l'un, courrier électronique pour un autre, rapport FRISCO et exposés à Dagstuhl en mai 1997 pour un troisième), ou même ne sont encore qu'implantés sous forme de maquette ; ils améliorent de plusieurs ordres de grandeur les performances de Gb, qui est toujours le logiciel diffusé le plus efficace du domaine. D'un certain point de vue ces nouveaux progrès marquent les limites du domaine, car on peut maintenant faire des calculs dont la taille du résultat rend délicate son utilisation (1600 Mo dans un exemple). Un accord cadre a été signé entre le LIP6 et l'INRIA (Nancy) pour la valorisation de ces résultats.

Ensembles triangulaires

P. AUBRY, D. LAZARD, M. MORENO-MAZA

La résolution des systèmes d'équations polynomiales au moyen d'ensembles triangulaires est une alternative indispensable aux bases de Gröbner : Ils fournissent une solution plus compacte (nombre borné de polynômes en sortie), mais surtout, ils peuvent conduire à des algorithmes de complexité simplement exponentielle en le nombre de variables, alors que, dans le pire des cas, la taille d'une base de Gröbner peut être doublement exponentielle en ce nombre de variables.

Dans le cas où le nombre de solutions est fini, ce caractère doublement exponentiel n'existe pas et un algorithme de D. Lazard (1991) permet de calculer les ensembles triangulaires à partir d'une base de Gröbner. Cet algorithme a été implanté par M. Moreno-Maza et s'avère extrêmement rapide. Dans le cas général, le défi (encore bien loin d'être résolu) est de passer d'une meilleure complexité théorique à de meilleurs résultats pratiques. C'est pour avancer dans cette direction que P. Aubry a implanté en Axiom les meilleurs algorithmes existants, en vue d'une comparaison fiable. De son côté, M. Moreno-Maza a implanté, corrigé et amélioré un algorithme de D. Lazard (1992) qui se caractérise par une récursion croisée extrêmement complexe. Ce dernier algorithme s'avère déjà un des deux meilleurs, tant en rapidité qu'en lisibilité et utilisabilité des résultats, et ceci alors même que des optimisations importantes ont été détectées et non encore implantées (Aubry, Moreno-Maza, 1997) ; il constitue une étape essentielle dans l'application à la compression d'images mentionnée ci-dessus (Faugère et al., 1996, 1997).

Arithmétiques et géométrie réelles, PGCD

F. REBUFAT, M. MORENO-MAZA, R. RIOBOO, M SAFEY EL DIN

Les systèmes d'équations et d'inégalités polynomiales sont particulièrement importants à cause de la multiplicité de leurs applications. Ce domaine de la résolution est dans une situation assez paradoxale car il existe des algorithmes théoriques de bonne complexité, mais ils ne sont pas raisonnablement implantables dans l'état actuel des techniques. Une des raisons de cette situation est la nécessité de disposer d'arithmétiques efficaces pour manier les nombres algébriques réels et les nombres infinitésimaux algébriques. R. Rioboo a implanté de telles arithmétiques en Axiom ; c'est la seule implantation de ce genre qui soit opérationnelle, mais elle nécessite d'être encore optimisée pour résoudre efficacement les problèmes réels.

L'optimisation de ces arithmétiques, comme des méthodes de résolution à l'aide d'ensembles triangulaires nécessitent un algorithme efficace de calcul des pgcd de polynômes sur une tour d'extensions algébriques, objet de l'article publié en commun par Moreno-Maza et Rioboo (1995).

Tous ces problèmes relèvent de la géométrie réelle et leur résolution nécessite des contacts réguliers avec les géomètres qui sont les premiers utilisateurs potentiels des outils ainsi développés. C'est dans cette optique que F. Rebufat a préparé et soutenu dans le thème une thèse (dirigée par Risler, centre de Math. de Jussieu) consacrée au placement de polynômes curvilignes, thèse dont le versant implantation s'appuie fortement sur les logiciels de l'équipe.

Applications

J.-CH. FAUGÈRE, I. KOTSIREAS, D. LAZARD

Les progrès des logiciels de résolution de systèmes permettent d'aborder des problèmes réels, mais il arrive fréquemment que ceux-ci nécessitent de faire progresser nos logiciels soit en efficacité, soit en fonctionnalités. Ceci fait que notre équipe consacre une partie notable de son temps de recherche à des applications qui nous ont amenés à publier dans des domaines apparemment éloignés du nôtre.

Il s'agit d'abord de la robotique, et plus généralement des robots parallèles communément appelés plates-formes de Stewart. Nous avons d'abord résolu un problème ouvert depuis plusieurs années en démontrant que le nombre maximal de configurations est de 40 (Lazard, 1993). Puis nous avons déterminé le nombre de configurations de toutes les variantes de la plate-forme générale (Faugère, Lazard, 1995), montrant que ce genre de résultats, qui a fait l'objet d'une littérature abondante, est devenu une activité de routine avec le logiciel Gb.

De même, les calculs effectués sur les cascades de filtres de Vetterli ont permis, en collaboration avec le CCETT (Lannion), d'élaborer des filtres de compression d'images bien supérieurs à ceux qui étaient connus dans cette catégorie, filtres qui ont fait l'objet d'un brevet. Il faut noter que cette application est, en fait, la résolution d'un problème d'optimisation avec contraintes non linéaires, et que l'efficacité de nos logiciels dans ce cas laisse augurer de la possibilité d'une grande gamme d'applications dans les domaines les plus variés.

Enfin, I. Kotsireas étudie l'applicabilité de nos techniques en mécanique céleste, et notamment au calcul des configurations stables de n corps.

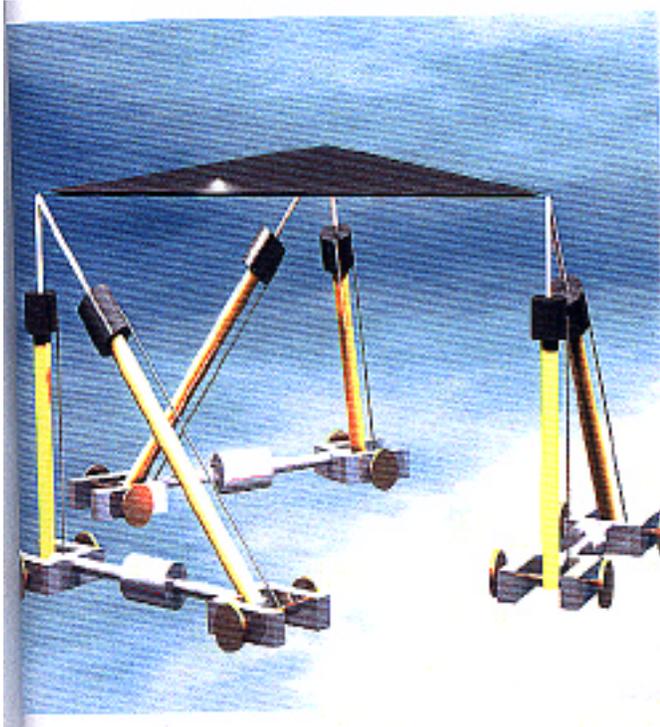


Figure N°1

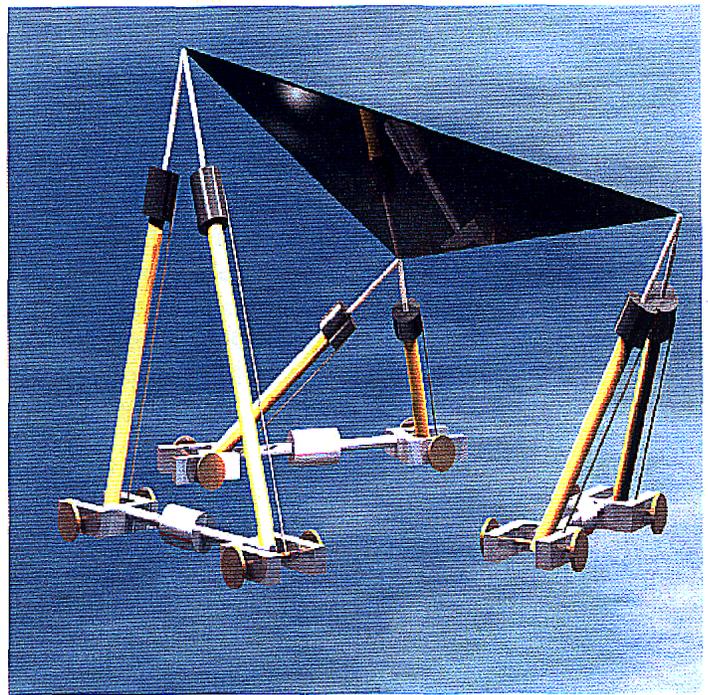


Figure N°2

Applications: les images représentent deux applications de l'équipe.

Robotique: cas du robot à 6 pattes utilisé dans les simulateurs spatiaux. Pour une configuration de robot donnée (cf. fig.1), il s'agit de retrouver la position du robot dans l'espace connaissant la longueur des pattes. La résolution des équations (logiciel Gb) montre qu'il y a 16 racines complexes parmi lesquelles seules 8 racines réelles ont un sens physiques (opération difficile numériquement car certaines solutions complexes ont une partie imaginaire très petite). On élimine en suite les 6 cas où la plateforme se retrouve sous terre et il reste deux solutions acceptables (fig.1 et fig.2).

Traitement du signal: à partir de l'image initiale (fig.1) on applique plusieurs fois des filtres qui ont été calculés dans l'équipe. La fig.3 montre le résultat après une itération (les 3 images noires sont amplifiées 50 fois). En ne gardant que l'image en haut à gauche de la fig.3 on compresse par 4. On itère l'opération. Pour retrouver l'image initiale on applique le processus inverse.

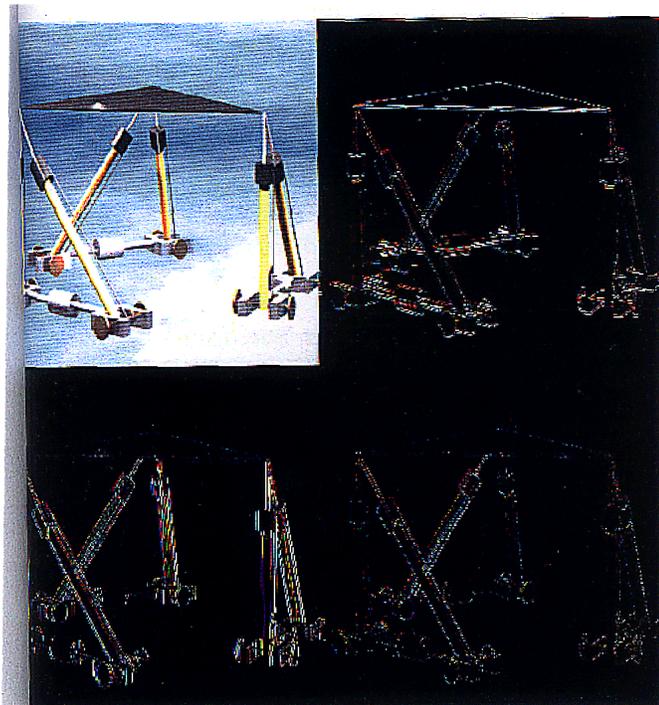


Figure N°3

Sémantique du calcul formel et preuves

G. ALEXANDRE, R. RIOBOO, V MÉNISSIER-MORAIN

Il s'agit d'une action commune avec le thème SPI : contrairement à la plupart des systèmes de calcul formel, le langage Axiom a un système de type et une sémantique qui permet d'envisager la preuve des algorithmes de base du calcul formel, tel le calcul de pgcd de polynômes. C'est l'objectif de la thèse de G. Alexandre que d'explorer cette possibilité. Au cours de l'année écoulé cet objectif de recherche c'est concrétisé dans le projet inter-thèmes FOC (Formel, Ocamel, Coq) et l'action incitative INRIA CFC (Calcul Formel et COQ) dont l'objectif est l'écriture en OCAML d'un système de Calcul Formel prouvable en COQ. Voir le rapport du thème SPI pour plus de détails.

Algèbre différentielle

D. LAZARD, M.-P. QUÉRÉ-STULCHIK

L'algèbre différentielle, introduite essentiellement par Ritt, consiste à étudier les systèmes d'équations différentielles ou aux dérivées partielles comme des objets algébriques, sans essayer, dans un premier temps de les résoudre numériquement. Cette vision des équations différentielles est très proche des équations polynomiales, la principale différence étant que le nombre de variables est infini (les fonctions inconnues et leurs dérivées à tous les ordres).

En collaboration avec F. Boulier (Lille), la théorie de Ritt a été rendue effective (Boulier et al., 1995), ce qui lui a permis d'en faire une implantation opérationnelle, distribuée avec la dernière version de Maple.

Par ailleurs, M.-P. Quéré-Stulchik a préparé et soutenu (13 juin 1997) une thèse dans ce domaine co-encadrée par G. Villard (Grenoble) et consacrée à la réduction des faisceaux de matrices de polynômes et à son application à la résolution de systèmes différentiels linéaires.

Théorie de Galois effective

I. ABDELJAOUAD, I. GIL-DELESALLE, N. RENNERT, A. VALIBOUZE, D. LAZARD

E. Galois a introduit la théorie qui porte son nom pour montrer que la résolubilité par radicaux d'une équation polynomiale s'exprime à l'aide de la structure (calculable) du groupe laissant globalement invariantes les racines de l'équation (groupe de Galois). Cependant, cette calculabilité est très longtemps restée théorique en raison du caractère exponentiel des complexités impliquées. L'objet de la théorie de Galois effective est de calculer effectivement ces groupes ou des propriétés qui leur sont liées, malgré cette complexité exponentielle.

A. Valibouze a montré avec J.-M. Arnaudiès que le groupe de Galois était complètement déterminé par les degrés des facteurs de polynômes auxiliaires, les résolvantes, et que ces polynômes pouvaient être calculés effectivement. Ceci a permis la mise au point d'un algorithme permettant de calculer le groupe de Galois de tout polynôme de degré au plus 11 (Arnaudiès, Valibouze, 1997).

Cette méthode a été améliorée par A. Valibouze dans deux directions : d'abord en améliorant les calculs de résolvantes, ce qui a été fait en collaboration avec A. Colin, un doctorant de l'école Polytechnique encadré par A. Valibouze (Valibouze, 1995 ; Colin, 1996) et avec plusieurs autres doctorants du thème (Rennert, Valibouze 1997 ; Aubry, Valibouze, 1997). Ensuite, en diminuant le nombre de résolvantes nécessaires, ce qui a été

obtenu en utilisant toute la structure du groupe de Galois des résolvantes et pas seulement les degrés des facteurs (Valibouze, 1995). En retour, ces liens qui ont été établis entre le groupe de Galois d'un polynôme et ceux des résolvantes permet dans certains cas de résoudre le problème de Galois inverse consistant à trouver un polynôme de groupe de Galois donné (Valibouze, Delesalle, 1996).

L'étude des groupe de Galois est nécessaire pour améliorer les algorithmes de factorisation de polynômes. L'invitation comme professeur invité de J. Davenport, en septembre 1995, s'est concrétisée par un rapport technique développant cette idée (Davenport, 1996), rapport publié ultérieurement dans les actes de MEGA 96.

Un problème important, qui est fortement lié à ces questions, est la résolutions des systèmes d'équations stables par symétries. Ce problème est très mal résolu, mais des progrès encourageants ont été faits par A. Colin, en collaboration avec le thème. Enfin le travail de D. Lazard sur la résolution des équations de degré 5 par radicaux (Lazard 1998) utilise les techniques et savoir de ce groupe.

Complexité

C. CHABAUD, M. PELLETIER, M. SORIA

L'activité de recherche dans ce domaine se développe selon plusieurs axes : analyse d'algorithmes et de structures de données, étude méthodologique des propriétés statistiques de schémas combinatoires, et utilisation de systèmes de calcul formel pour automatisations partielles. M. Soria travaille depuis plusieurs années avec l'équipe de P. Flajolet à l'INRIA et une collaboration s'est aussi développée avec M. Drmota de l'université de Vienne.

L'aspect méthodologique porte sur l'étude des relations existant entre la description structurelle de processus combinatoires et leurs propriétés statistiques. Cette étude, fondée sur l'application aux séries bivariées de méthodes d'analyse asymptotique complexe et de théorèmes limites en probabilité montre que, sous des conditions analytiques simples et générales, un même schéma combinatoire donne toujours lieu aux mêmes propriétés statistiques.

On a pu ainsi établir (Flajolet, Soria, 94 ; Drmota, Soria, 95) une typologie complète et effective pour une large classe de schémas combinatoires, avec des lois limites variées, discrètes ou continues.

Par ailleurs les techniques développées ont permis d'analyser précisément des algorithmes pour des applications particulières : systèmes de réécritures d'arbres de termes (Chaubaud, Soria, 97), et graphes fonctionnels en liaison avec la cryptographie (Drmota, Soria, 97). Notre intégration dans l'équipe de D. Lazard nous amène à nous intéresser aux algorithmes probabilistes du calcul formel, pour lesquels il existe peu de résultats d'analyse.

Publications

Livre (1)

Soria M., Morcrette M., Brygoo A., **Paliès O.***, *Initiation à l'Informatique à travers Word et Excel*, Editions Vuibert (1997) 450 pages.

Publications parues dans des revues, notoriété importante (5)

- Arnaudiès J.-M., **Valibouze A.**, Lagrange Resolvents, *J. Pure Appl. Algebra*, n° 117/118 pp 23-40
- Aubry P., Lazard D.**, Moreno-Maza M., On theories of triangular sets. Article "à paraître" dans journal of symbolic computation.
- Drmotá M., **Soria M.**, Images and preimages in random mappings, *SIAM Journal on Discrete Mathematics*, Vol 10, n° 2 (1997).
- Ligatsikas Z., Roy M.-F., **Rioboo R.**, Generic Closure Of an Ordered Field, Implementation in Axiom, *Math. and Comp. in Simulation*, (1996) pp. 541–549.
- Valibouze A.**, Etude des relations algébriques entre les racines d'un polynôme d'une variable. A paraître dans Bull of the Belg.Math.Soc. (1998).

Publications dans des actes de congrès ou des ouvrages de synthèse, notoriété importante (4)

- Kotsireas I., Lazard D.**, Central Configurations of the 5-body problem with equal masses in three-dimensional space. (CASC-98), ST- Petersburg (Russie). L'article va être publié aux comptes rendus de ce colloque chez world Scientific Press.
- Valibouze A.**, Calculs de Groups de Galois, conférencié invitée au Colloquium Numerical Analysis, and Computer Science With Applications, Plodiv Bulgaria (August 13-17, 1998)

Publications dans des actes de congrès ou des ouvrages de synthèse, notoriété courante (2)

- Rebufat F.**, Handling rotations in the placement of convex curved polygons, CCCG97 (*Canadian Conference on Computational Geometry*) (August 1997).
- Colin A.**, An efficient symbolic algorithm to compute Lagrange resolvents for computational Galois theory, *Galois algébrique, Galois différentiel, journées thématiques Medicis*, Rennes (1996).

Brevets, logiciels (distribués par ftp) (3)

- Faugère J.-Ch.**, *Gb* : logiciel pour le calcul des bases de Gröbner, version 4, écrit en C⁺⁺(85 000 lignes)ftp://posso.ibp.fr/pub/software/GB/ (1996).
- Faugère J.-Ch.**, Moreau de Saint-Martin F., Rouillier F., Procédé de décomposition-recomposition d'images fixes et animées (brevet déposé pour la France par le CCETT le 20/01/97, n° 97 005 28).
- Lazard D.** Quintic Logiciel de résolution par radicaux des extensions de degré 5. Licencié pour inclusion dans la prochaine version de Maple
- Valibouze A.**, *SYM* : Calcul avec les fonctions symétriques, inclus dans la distribution de Maxima (1996).

Divers et rapports de recherche (9)

- Alexandre G.**, *Une implémentation de Zermelo-Fraenkel en Coq*, Rapport LITP 96-05 (1996).
- Alexandre G., Manoury P.**, *An heuristic for axiomatic theories: the case of Zermelo set theory*, Rapport LITP 96-15 (1996).

- Aubry P., Moreno-Maza M.**, *Triangular Sets for Solving Polynomial Systems: a Comparison of Four Methods*, Rapport LIP6, 1997/009
- Aubry P., Valibouze A.** Computing characteristic polynomial associated with some quotient rings LIP6 1998/004.
- Davenport J.-H., *Galois Group and the Simplification of Polynomials*, Rapport LITP 96/11 (1996).
- Faugère J.-Ch.**, Gb, logiciel pour le calcul des bases de Gröbner, Rapport LITP (1996).
- Faugère J.-Ch.**, *A new efficient algorithm for computing Gröbner Basis (F4)*, Technical report of Task 3.3.2.1 in FRISCO rapport (1997).
- Faugère J.-Ch.**, Moreau de Saint-Martin F., Rouillier F., *Design of nonseparable bidimensional wavelets and filter banks using Gröbner bases techniques*, Rapport CCETT/PFI/IPT-MTS/125/96/FMSM, CNET (1996).
- Lazard D.**, Solving quintics by radicals, Rapport LIP6 1998/023
- Moreno-Maza M.**, An implementation of lextriangular algorithm in AXIOM. Task 3.3.2.5. in Frisco (1997).
- Moreno-Maza M.**, On the Integration of Triangular Sets Methods in ALDOR. Task 3.3.2.4.2. in Frisco (1998).
- Quéré-Stuchlik M.P.**, How to compute bases using Padé approximants LIP6 (1997-035).
- Rouillier Fabrice., Roy Marie-Françoise., **Safey El Din Mohab.**, testing Emptiness of real hypersurfaces, real algebraic sets, and semi-algebraic sets. Deliverable 3.5.1.8.17 in Frisco report Month 23, 1998.
- Roy Marie-Françoise., **Safey El Din Mohab.**, New Subresultant Algorithms Deliverable 3.5.1.1.4 in Frisco report Month 23, 1998.
- Soria M.**, Limit Distributions in Random mappings, *Inria Algorithms Seminar*, Salvy B (Ed.), 1996.
- Soria M.**, Coefficients of Algebraic Functions, *Inria Algorithms Seminar*, Salvy B (Ed.), 1998.
- Valibouze A.**, Construction de l'idéal des relations entre les racines d'un polynôme, Rapport LIP6 1997/014

Animation de la recherche

Rédacteur de revues et membres de comités de lecture

Lazard D.,

- Journal of Symbolic Computation (activité momentanément interrompue en 1995, pour cause de direction d'UFR)

Soria M.,

- Journal électronique d'Informatique Théorique et de Combinatoire (International Thomson Publishing)

Membre de comité de programme de conférence

Lazard D.,

- MEGA, Effective Methods in Algebraic Geometry (tous les deux ans depuis 1992)

Administration de la recherche

Lazard D.,

- Directeur de l'UFR d'Informatique de l'UPMC (1994-1997)

Valibouze A.,

– Membre du Comité National de la Recherche Scientifique

Formation par la recherche

Thèses (3)

Moreno-Maza M., *Calculs de pgcd au dessus des tours d'extensions simples et résolution des systèmes d'équations algébriques*, Thèse d'université, UPMC, 13/6/1997, encadré, par Lazard D.

Quéré-Stulchik M.-P., *Théorie des faisceaux linéaires de matrices, liens avec la théorie des systèmes linéaires et application à la résolution d'équations algèbro-différentielles*, Thèse d'université, UPMC, 13/6/1997, encadré, par Villard G. (LMC, Grenoble) et Lazard D.

Rebufat F., *Placement de polygones généralisés dans le Plan*, Thèse d'université, UPMC, 1/4/1997, encadré, par Risler J.-J. (Centre de Mathématiques de Jussieu) et Rioboo R.

Projets et contrats

Participation aux grands programmes de recherche nationaux

PRC-GDR AMI

– Participation aux groupes de travail «Dédution et Calcul Formel et Systèmes polynomiaux».

Participation aux groupes de travail ALEA

GDR MEDICIS

– Projet Galois

Responsable : A. Valibouze, durée: 1995-98, financement : 20kF

Contrats internationaux

FRISCO (FRamework for Integrating Symbolic-numeric COmputation)
(ESPRIT 21024)

Responsable scientifique : D. Lazard, durée 3/96–2/99, financement : 230kF, sous-contractant de l'IRMAR (Rennes), responsable M.-F. Coste-Roy.

Partenaires : NAG, CNRS Rennes, INRIA Sophia Antipolis, Pise, Santander

Réseau européen SAC (Symbolic and Algebraic Computation).

Durée : 1996-97, financement : 10kF (pour le projet Galois)

Contrats nationaux

Accord cadre avec l'INRIA (Nancy) pour la valorisation commune de FGB (nouvelle version de GB) et de RS 5Real-Solving), développé à Nancy par F. Rouiller.

CFC (Calcul Formel et Coq), action incitative INRIA. Responsable L. Pottier (INRIA, Sophia-Antipolis). *Partenaires : plusieurs équipes INRIA, les thèmes SPI et Calfor du LIP6.*

Visiteurs étrangers

- Schelter Wiliam, University of Austin (Texas) (mai 98)

Projets inter-thèmes

Machine MPC

Greiner Alain

Alt René

Chesneaux Jean-Marie

Faugère Jean-Charles

Folliot Bertil

Lamotte Jean-Luc

Leduc Thomas

Scherson Isaac

Sens Pierre

Professeur, UPMC , ASIM

Professeur, UPMC, ANP

MC, UPMC, ANP

CR CNRS , CALFOR

MC, UPMC, SRC

MC, UPMC, ANP

Thèsard, UPMC, ANP

Professeur, IRVINE, ASIM

MC, UPMC, SRC

Personnel temporaire

Wajsburt Franck

Zerrouki Amal

ATER, UPMC, ASIM

Postdoc UPMC, ASIM

Doctorants présents 80% du temps au LIP6

Alves Barbosa Fabricio (Greiner, 96), ASIM

Bretelle Bruno (Folliot, 95), SRC

Cadinot Philippe (Sens, 96), SRC

Desbarbieux Jean-Lou (Greiner, 95), ASIM

Fenyo Alexandre (Greiner, 95), ASIM

Lecler Jean-Jacques (Bazargan, 94), ASIM

Victor Marc (Faugère/Lazard, 94), CALFOR

Description de l'action

OBJECTIFS

Les machines parallèles commerciales de type «mémoire partagée» sont généralement des machines très coûteuses. Elles utilisent des nœuds de calcul et des réseaux d'interconnexion à haut débit et faible latence conçus sur mesure pour la machine. A l'autre extrémité, l'approche NOW ("Network Of Workstations") vise à utiliser un réseau de stations de travail ou de PCs interconnectés par un réseau local rapide pour des applications coopératives. C'est une solution économique, mais le coût des communications à travers le réseau limite en pratique ce type de système à des applications parallèles «gros grain» construites sur un modèle de programmation de type «passage de message».

Entre ces deux extrêmes, le projet MPC vise la conception et la réalisation d'une machine parallèle de type «grappe de PCs », grâce à l'utilisation de cartes PC standard comme noeuds de calcul, et de la technologie de liaison série HSL (High Speed Link) pour le réseau d'interconnexion.

L'objectif principal du projet est de mettre entre les mains de différentes équipes du LIP6 une plate-forme d'expérimentation pour la recherche sur la programmation parallèle. Initialement constituée de quatre nœuds biprocesseurs, cette plate-forme sera ensuite étendue à huit nœuds.

ENJEUX INDUSTRIELS

L'architecture matérielle s'appuie presque exclusivement sur des composants standard: la plate-forme MPC utilise comme nœuds de calcul des cartes mères de PC, qui fournissent aujourd'hui le meilleur rapport performance/prix. Le système d'exploitation est une version légèrement modifiée de UNIX FreeBSD. L'élément original de l'architecture est le réseau d'interconnexion entre les processeurs : ce réseau utilise des liaisons série asynchrones, point à point à 1 Gbit/s. Cette technologie d'interconnexion HSL (High Speed Link) a été développée conjointement par la société Bull et par l'Université Pierre et Marie Curie. Elle est peu coûteuse et très flexible: une liaison est physiquement réalisée par un simple câble coaxial (type Ethernet fin) dont la longueur peut atteindre cinq mètres. Cette technologie est aujourd'hui devenue un standard IEEE (IEEE1355).

La plate-forme matérielle est constituée d'un ensemble de PCs standard à chacun desquels on a ajouté une carte réseau FastHSL. Chaque carte FastHSL comporte un routeur de message dynamique. La fonction de routage est donc elle-même distribuée, puisqu'il n'y a pas de routeur centralisé, ce qui rend l'architecture facilement extensible, et permet de construire des réseaux de topologie quelconque. La latence matérielle maximale, pour un réseau de plusieurs centaines de processeurs est inférieure à 5 micro-secondes.

Les enjeux industriels sont importants : s'il est à peu près clair que les industriels européens ont perdu la guerre des microprocesseurs d'usage général, qui sont tous américains, la situation est plus ouverte pour ce qui concerne les machines parallèles à bas coût, de type « grappes de PCs ». La technologie HSL, d'origine européenne est en avance par rapport à des technologies concurrentes telles que MYRINET en termes d'intégration, de flexibilité et de rapport performance/coût. Le projet MPC vise évidemment à exploiter cet atout. La conception d'un environnement logiciel exploitant au mieux les caractéristiques de la plate-forme matérielle permettra de construire sur l'architecture MPC des serveurs spécialisés dans différents domaines d'applications: serveur de calcul pour des applications de simulation ou de calcul scientifique, serveur de documents multi-média, serveur vidéo, etc...

ENJEUX SCIENTIFIQUES

Bien que différentes études d'architecture matérielle exploitant la technologie HSL soient en cours au sein du département ASIM, le projet décrit ici se limite à la plate-forme matérielle existante, utilisant la carte réseau fastHSL. Il s'agit fondamentalement de développer le logiciel de base et les différentes couches de communication permettant de rendre disponibles au niveau applicatif la faible latence et le haut débit du réseau d'interconnexion.

Le but est donc d'analyser et de comparer différents mécanismes de communication et différentes approches — au niveau système — visant à utiliser au mieux les performances intrinsèques du réseau HSL et du mécanisme d'écriture directe en mémoire distante. On cherchera à évaluer au niveau applicatif les performances obtenues pour différents types d'applications parallèles ou distribuées. On espère que ces études permettront en retour de définir les évolutions ou améliorations possibles de la plate-forme matérielle.

Protocoles de communication sécurisés

La primitive de communication fournie par la plate-forme MPC est l'écriture directe en mémoire distante. Cette primitive de communication est exploitée par le protocole DDSLR («Direct Deposit State-Less Receiver»). Ce protocole est actuellement mis en œuvre par un ensemble de fonctions de communication logicielles implantées sous UNIX free-BSD. On vise la définition d'une couche de protocoles sécurisés qui garantissent des communications sans perte même en cas de défaillances matérielles, en conservant les interfaces de programmation existantes. Cette étude est menée dans le cadre du thème ASIM sous la responsabilité d'A.Greiner.

Modèle de programmation «à passage de messages»

Pour faciliter l'expérimentation au niveau applicatif, il faut fournir des interfaces de programmation «standard». Un premier objectif est de réaliser une implantation optimisée des environnements de programmation PVM et MPI sur la plate-forme MPC. PVM et MPI sont les standards de fait pour les applications distribuées visant un réseau de station de travail et s'appuyant sur un modèle de communication de type «passage de messages». Cette étude est menée dans le cadre du thème ASIM, en coopération avec le département Informatique de l'ENST (I.Demeure), sous la responsabilité d'A.Greiner.

Modèle de programmation «à mémoire partagée»

La faible latence du réseau HSL rend envisageable la réalisation sur la plate-forme MPC d'un système de mémoire virtuelle partagée, reposant sur un modèle de cohérence relâchée («release consistency»). Différentes approches sont possibles au niveau système, selon qu'on envisage de conserver un système d'exploitation indépendant sur chaque noeud, ou d'avoir un seul système d'exploitation distribué. Cette étude sera menée dans le cadre du thème ASIM sous la responsabilité d'I.Scherson.

Système d'exploitation

L'analogie entre la machine MPC et un système réparti reposant sur un réseau local à haut-débit va permettre de réaliser un système d'exploitation parallèle et réparti (basé en première approche sur Unix) multi-applications et multi-utilisateurs, bénéficiant des avantages de chacune des deux approches - parallèle : très haut-débit, faible latence, facilité d'administration - réparti : modulable, incrémentiel, hétérogène (en puissance). À terme, il est envisageable d'interconnecter des réseaux de machines MPC ou des machines MPC avec d'autres types de machines (machines parallèles, réseaux de stations...) Cette étude s'appuie sur l'expérience acquise au LIP6 dans le cadre du projet Speed d'intégration cohérence/régulation de charge. Cette étude est menée dans le cadre du thème SRC sous la responsabilité de B.Folliot.

Application calcul formel

Le calcul formel est maintenant apte à traiter des problèmes venant du monde industriel dans le domaine des équations polynomiales (optimisation avec contraintes polynomiales). Toutefois ces calculs sont très coûteux à la fois en temps de calcul (15 jours de temps CPU avec le logiciel FGb) et surtout en mémoire (plusieurs Giga octets). Le passage vers une technologie massivement parallèle est donc une nécessité. Sur le plan théorique, les

algorithmes ont été élaborés dans la perspective du calcul parallèle; des expériences concluantes ont été faites sur diverses machines parallèles à mémoire partagée avec un faible nombre de noeuds; cependant l'analyse de la complexité de ces algorithmes est trop difficile pour extrapoler un très bon comportement si on augmente massivement le nombre de processeurs. L'architecture générale des logiciels Gb et FGb étant basée sur le mode client/serveur, les communications se font par passage de messages. De plus, le gestionnaire de la mémoire dynamique qui a été développé spécialement pour ces logiciels semble pouvoir utiliser directement et efficacement le mécanisme d'écriture distante. Cette étude est menée dans le cadre du thème CALFOR sous la responsabilité de J.C.Faugère.

Application calcul scientifique

L'une des applications majeures du parallélisme est le calcul scientifique intensif. Il s'agit donc de porter des outils de base et d'évaluer leur performance sur la machine MPC. La librairie BLAS (Basic Linear Algebra System) est actuellement une librairie incontournable dans le domaine du calcul scientifique. L'objectif est donc d'implémenter une librairie BLAS parallèle adaptée à l'architecture de la machine MPC et en particulier à son réseau de communication rapide, ainsi que les outils de validation numérique développés au sein du thème ANP (CADNA séquentiel et parallèle). Le traitement, la synthèse d'images et la modélisation de phénomènes physiques à base d'automates cellulaires nécessitent une grosse puissance de calcul. L'objectif est donc d'implanter des opérateurs parallèles de traitement d'images et un noyau parallèle de synthèse d'images reposant sur le lancer de rayon et un noyau parallèle d'automates cellulaires. Ces études sont menées dans le cadre du thème ANP sous la responsabilité de R.Alt.

Projet Indexation Multimedia

Faudemay Pascal

Bouchon-Meunier Bernadette

Caraty Marie-José

Doucet Anne

Joly Philippe

Montacé Claude

Ingénieur de recherches, CNRS (ASIM)

Directeur de recherches, CNRS

Maître de Conférences, UPMC (APA)

Professeur, UPMC (OASIS)

Maître de Conférences, UPMC (ASIM)

Maître de Conférences, UPMC (APA)

ITA-IATOS

Penné Jean

Ingénieur de recherches, CNRS

Doctorants présents 80% du temps au LIP6

Durand Gwenaél (Faudemay, 96)

Seyrat Claude (Faudemay, 96)

Ruiloba Rosa (Faudemay 98)

Detiniesky Marcin (Bouchon 98)

Petridis Sergio (Montacé 98)

Lefevre Fabrice (Caraty 98)

Description de l'action

Le Projet Indexation Multimédia rassemble des chercheurs de plusieurs équipes du LIP6 : équipe Multimédia / ASIM, équipe Parole / APA, bases de données, logique. Il a pour but l'extraction automatique ou supervisée de connaissances de documents audiovisuels, et l'accès intelligent aux objets audiovisuels, à travers la télédiffusion et l'Internet. Les approches visées sont les requêtes d'interrogation, ou approche "pull", et les requêtes de filtrage ou approche "push", par des agents intelligents. Dans ce cas les agents produisent des requêtes "pull" à partir du profil de l'utilisateur, sans intervention explicite de celui-ci (interface "zéro commande").

L'enjeu scientifique de l'indexation multimédia est la compréhension automatique de la vidéo, de l'audio, de l'image fixe, des pages web, etc. par des programmes. Cette compréhension peut s'exercer à différents niveaux de granularité (de l'objet visuel à la vidéo entière) et d'abstraction (depuis la reconnaissance d'un objet jusqu'à celle d'une allusion, d'un trait d'humour ou d'un élément "décisif"). L'enjeu du projet inclut aussi la compréhension de l'utilisateur, en vue de construire et d'interpréter son profil et ses demandes.

Ainsi définis, ces objectifs en font un projet à long terme (éventuellement plusieurs dizaines d'années), dont certains résultats fondamentaux ont déjà été obtenus ou sont attendus à court terme. Ces résultats sont très importants pour une valorisation économique, qui apparaît déjà envisageable à court terme.

Sur le plan socio-économique, le développement des stocks d'audiovisuel numérique conduit à envisager l'accès à ces stocks sur l'Internet, et pose également le problème du développement (quantitatif ou qualitatif) du marché de la télévision pour suivre l'augmentation de l'offre. Le point de vue courant actuellement est que le marché de l'audiovisuel ne se développera que si les utilisateurs professionnels et résidentiels disposent de moyens d'accès intelligent aux contenus. Le marché des descriptions et des matériels de navigation devrait donc devenir une part significative de celui des contenus et des matériels associés, et surtout conditionner le développement du marché de l'audiovisuel (310 M\$ USD en 1995, augmentant de 4% par an). De plus, les méthodes d'accès intelligent conditionneront pour une part le développement de la société de l'information et l'accès multilingue aux ressources culturelles.

Selon notre point de vue, une part des technologies fondamentales dans ce domaine sont les suivantes :

- la segmentation spatiale de l'image fixe et animée,
- la segmentation temporelle de l'audio et de la vidéo en unités sémantiques (segments de même locuteur, de même type, scènes dans une vidéo),
- la reconnaissance vocale de la parole,
- la représentation des connaissances relatives aux objets audiovisuels, notamment sous forme des futures "descriptions" de MPEG-7.

Seules un petit nombre d'équipes dans le monde rassemblent une partie de ces technologies (mais généralement pas toutes). Il s'agit principalement de IBM (projet QBIC) et de Informédia (Université Carnegie-Mellon et ISLIP), et peut-être de quelques autres équipes. Le LIP6 a apporté des contributions dans ces différents domaines.

Dans ce contexte, nos axes de recherche sont les suivants :

1. segmentation spatiale de l'image

La segmentation de l'image en objets est une des méthodes de base de MPEG-4. Cette segmentation est généralement réalisée à partir du mouvement, avec des résultats moyens. Selon un point de vue couramment exprimé (ACM Multimédia 98), la segmentation de l'image statique en objets est un objectif "fondamental... mais quasi-impossible". Le LIP6 (P. Faudemay, G. Durand) a développé une méthode de segmentation de l'image statique en objets sémantiques, qui fait l'objet d'un brevet de février 1998.

2. segmentation temporelle de la vidéo

De façon classique, la vidéo est segmentée en plans qui sont l'unité de prise de vue et de montage. Des méthodes efficaces de segmentation en plans ont été développées, avec les travaux de Zhang, Joly, etc. Cependant une heure de vidéo contient couramment plus de 1000 plans, et par suite cette granularité n'est pas forcément adaptée à la navigation.

L'unité sémantique de base dans la vidéo est la scène ou séquence, formée de plusieurs plans consécutifs représentant une unité de temps et de lieu, ou un montage en plans de coupe (par exemple avec des plans sur le journaliste et sur l'interviewé, dans un interview). Un petit nombre d'équipes dans le monde étudient la segmentation en scènes, dont P. Aigrain et P. Joly (IRIT et maintenant LIP6), W. Wolf (Princeton), Aoki et al., etc.

Le LIP6 a développé une approche basée sur la détection d'objets caractéristiques et de plans de coupe (SPIE Boston 96), et va vraisemblablement intégrer cette approche et l'approche multi-règles de P. Joly.

3. dictée vocale

La reconnaissance de la parole ou dictée vocale (transcription de la parole vers le texte) est un moyen extrêmement puissant d'extraction d'information sémantique de l'audio. Celle-ci permet d'atteindre un niveau de compréhension sémantique supérieur à celui possible actuellement avec l'image.

Actuellement les travaux les plus avancés (Cambridge, IBM, Lernout & Haupsie, LIMSI, LIP6) permettent une reconnaissance vocale indépendante du locuteur et sans contrainte de vocabulaire, avec des taux de succès de 70% à 90% selon la taille du vocabulaire, et des ratios au temps réel de 300 à 50 sur un PC. Ces résultats sont suffisants pour une exploitation effective en indexation, mais peuvent encore être améliorés. En particulier ils ne sont atteints que pour certains types de corpus. Les objectifs de l'équipe Parole à cet égard sont présentés dans le chapitre du thème APA.

4. segmentation temporelle de l'audio

Pour l'application des méthodes de dictée vocale à des vidéos, il est important de séparer les différents types de segment audio : parole, parole bruitée, parole et musique, etc. pour appliquer différents types de modèles phonétiques, ou autres. La segmentation du canal audio d'une vidéo est l'une des tâches du LIP6 (équipe Parole) dans le projet Esprit AVIR. Cette tâche s'appuie sur des méthodes de reconnaissance du locuteur et de reconnaissance de la parole.

Dans le cadre du projet inter-thèmes "Indexation audio-vidéo", nous expérimentons actuellement des méthodes de base de cette tâche sur un corpus de 30 heures de vidéo.

5. caractérisation des objets et des actions

La caractérisation des objets et des actions a pour but de pouvoir les retrouver dans la vidéo par un nom, comme dans le cas de la recherche dans un texte, et de pouvoir construire le "script" d'une vidéo à partir de l'image et du son. Actuellement nous pouvons retrouver un petit nombre d'objets (moins d'une dizaine). Notre objectif est de caractériser plusieurs dizaines d'ici un an à dix huit mois, en nous appuyant sur des connaissances sur ces objets.

La reconnaissance de certaines actions s'effectue classiquement à partir du mouvement et du graphe de connexité des objets (Texas Instruments, U. Mannheim). Actuellement nous étudions le mouvement des objets en vue de contribuer à la détection de certains types d'actions.

L'extraction et la caractérisation de la gestuelle est aussi un domaine qui se développe rapidement dans le contexte de MPEG-4 / SNHC (synthetic natural and hybrid coding). P. Joly prépare un projet de description automatique de chorégraphies à partir de l'image animée, ce projet est en cours d'évaluation.

6. moteurs de recherche "pull"

Le but de ces moteurs de recherche est de rechercher des plans ou des scènes par les objets et les actions qu'ils contiennent. Nous utilisons des méthodes basées sur des signatures multiples, qui permettent de retrouver un objet (par exemple la tour Eiffel) par un schéma dans un millier d'images caractéristiques de plans. Nous définissons également des concepts visuels par des collections d'objets, dans une approche similaire de celle de MOVI, mais basée sur la segmentation automatique des objets dans la vidéo et le suivi des objets. Nous étudions également les problèmes de rétroaction de l'utilisateur et d'apprentissage dans un contexte caractérisé par un petit nombre d'exemples.

7. moteurs de recherche "push"

Dans le cas de l'utilisateur résidentiel ou de certains utilisateurs professionnels, le but d'un moteur de recherche n'est pas de délivrer plusieurs versions d'un type de scène ou d'image donné, mais une certaine durée d'audio ou de vidéo, ou un certain nombre d'images, couvrant les intérêts de l'utilisateur compte tenu de ce qu'il a déjà vu auparavant. L'utilisateur est alors caractérisé par un profil, à partir duquel des agents intelligents dérivent éventuellement des suites de requêtes plus précises.

Le projet étudie actuellement une maquette de serveur "push" et d'interface de navigation adapté, en vue de mieux délimiter les principaux problèmes de cette approche.

8. représentation de la vidéo

La représentation du contenu des documents multimédia, notamment les vidéos, fait l'objet de travaux en vue du développement d'une norme internationale dans le cadre d'ISO/ CEI / MPEG. Cette norme permettra l'interopérabilité des descriptions et des décodeurs. Elle constitue l'objectif de MPEG-4 / OCI (Object Content Information) et de MPEG-7 (Multimedia Content Description Interface).

Dans ce cadre, le LIP6 a proposé des mécanismes de création de types de portée globale pour MPEG-4 / OCI et participé à l'édition finale d'OCI. Pour MPEG-7, le LIP6 a participé à la spécification actuelle de MPEG-7 comme basé sur des Schémas de Description (modèles du document multimédia ou de la réalité correspondante) et un langage de définition de schémas (DDL). Des travaux devraient commencer prochainement dans le projet sur l'utilisation d'ontologies pour l'indexation multimédia.

9. représentation de l'utilisateur

La représentation de l'utilisateur est un des enjeux importants de l'approche "push". Elle peut être abordée à partir d'une approche vectorielle ou en différenciant l'ontologie ou la base de connaissances de l'utilisateur, quelque soit sa représentation, de celle du sens commun.

Cette orientation de recherche commence seulement actuellement dans le projet.

10. recherche coopérative ou "par recommandations"

Pour rechercher des objets multimédia selon l'approche "push", il est possible de s'appuyer sur les recommandations ou les avis, explicites ou implicites, des autres utilisateurs de la

base de données globale. Cette approche a notamment été développée par des projets comme Tapestry (Xerox Palo Alto), puis Firefly, GroupLens, Grassroots, etc.

L'un des problèmes est d'adapter la portée des informations, leur contenu, leur type d'accès (statistique ou individuel) aux besoins de confidentialité et d'information des utilisateurs. Le projet expérimente actuellement pour ses besoins propres un système de recherche de pages web et de références d'objets audiovisuels à partir d'annotations distribuées, qui fait l'objet de développement en cours.

11. aspects système

L'accès intelligent à de grandes bases de contenus peut nécessiter des capacités de stockage dépassant largement le téra-octet. Le projet a des contacts avec l'université de Tokyo, qui gère des dizaines de téra-octets pour le stockage d'une partie des images satellites japonaises. Nous étudions actuellement une coopération pour la réalisation d'un système de stockage transparent pour le développeur, qui pourrait être couplé avec la machine MPC.

Nos projets en cours ou qui doivent commencer avant la fin de l'année sont le projet TRANSDOC, avec l'université de Technologie de Compiègne (programme "Autoroutes de l'Information") et le projet Esprit AVIR. Plusieurs autres projets sont actuellement en cours d'évaluation ou en préparation.

L'action " serveur d'indexation " du LIP6

Dans le cadre des projets inter-thèmes du LIP6, le Projet Indexation a obtenu un financement de 90 kF de la part du LIP6 au titre de la politique scientifique de celui-ci. Le choix du projet a été de dédier ce financement au développement des méthodes audio de l'indexation. Il a permis l'acquisition d'un serveur de dictée vocale, formé de trois Pentium 300 à 1 giga-octet de RAM chacun. Ce serveur est utilisé pour une expérimentation de segmentation temporelle et de dictée vocale sur des vidéos.

Un corpus initial d'environ 4 heures de vidéo (actualités, documentaires, fiction, émission de plateau) a été étiqueté à la main, et a servi de base pour développer et expérimenter des méthodes de segmentation en parole / bruit / musique. Les résultats obtenus au niveau d'égale erreur (égalité du taux de parole non détectée et du taux de bruit) sont de 5% d'erreur sur la partie du corpus utilisée, ce qui est un très bon résultat. Il reste à le valider sur un corpus plus important et à réaliser un étiquetage plus fin.

Ces résultats ont permis au LIP6 de proposer une activité de segmentation de l'audio sur des vidéos, et la réalisation d'un serveur de dictée vocale pour l'indexation, dans le projet Esprit AVIR. Dans ce projet, la segmentation sera menée plus loin en vue de pouvoir appliquer la dictée vocale à des segments audio " non bruités ", " peu bruités ", " avec un peu de musique ", etc.. Il s'agit d'une étape importante dans le développement des méthodes audio pour l'indexation, et dans le développement de l'indexation multimédia en général. Le projet a été retenu et devrait commencer au 1^e juillet 1998. La possibilité de développer cette activité audio dans AVIR est un résultat direct de l'action " serveur d'indexation " du LIP6.

Dans les prochaines années, le développement conjoint de l'activité du projet " Indexation Multimédia " dans les domaines de l'audio, de l'analyse de l'image, et de la représentation des connaissances, ainsi que du système, devrait rester une orientation stratégique du projet.

Bibliographie:

- [1] Pascal Faudemay, Liming Chen, Claude Montacié, Marie-José Caraty, "Video indexing based on image and sound" Proc Int'l Conf. "Multimedia Storage and Archiving", SPIE 97, Dallas, Texas, Novembre 1997
- [2] P. Faudemay, L. Chen, C. Montacié, M.J. Caraty, C. Maloigne, X. Tu, M. Ardebilian, J.L. Floch, "Multichannel video segmentation", *Proc. Int'l Conf. On Multimedia Storage and Archiving Systems*, SPIE, Boston, Nov 1996, pp.252-264.
- [3] Philippe Aigrain, Philippe Joly, Véronique Longueville, "Médium Knowledge-Based Macro-Segmentation of Videos into Sequences", *Proc. IJCAI Workshop on Intelligent Information Retrieval*, Montréal, August 1995.

Webliographie

- "MPEG-7: Context and Objectives (v.3)", ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 N1678,
http://www.cselt.stet.it/mpeg/mpeg_7.htm
- Informedia : <http://www.informedia.cs.cmu.edu/>
- QBIC : <http://www.qbic.almaden.ibm.com/stage/demo.html>

Vérification de Modèle et Aide à la Preuve

Minoux Michel

Encrenaz-Tiphene Emmanuelle
Pouzet Marc

Professeur, UPMC (ANP)

Maître de Conférences, UPMC (ANP)

Maître de Conférences, UPMC (SPI)

Personnel temporaire

Vernier Isabelle

Post-Doc, (SRC)

Description de l'action

1. Objectif du projet

Le projet VMAP a débuté en novembre 1997. Il concerne l'étude de la combinaison des méthodes de vérification par modèles et de preuves assistées par ordinateur pour les systèmes réactifs. Dans cette étude, l'accent sera mis sur la modularité de la description et de la preuve (ou de la vérification) de ces systèmes.

2. Travaux réalisés depuis le 1.11.1997

2.1. Réunions de travail

Réunions de travail bimensuelles depuis novembre 1997 portant sur :

- la modélisation des systèmes réactifs en Lucid Synchrone et en VHDL,
- les techniques de vérification :
- des programmes à flots de données synchrones avec l'outil Lesar. Un traducteur de Lucid Synchrone vers Lustre est en cours de réalisation. Il permettra d'utiliser les outils de vérification de Lustre,
- des programmes VHDL,
- l'apprentissage du prouveur Coq (suivi des cours du DEA SPP).

2.2. Étude de cas : protocole BRP

Il s'agit d'un exemple simple de protocole de communication. C'est une extension paramétrée du protocole du bit alterné. Ses caractéristiques sont les suivantes :

- interconnexion de machines d'états finis : le protocole peut-être représenté «à plat» ou modulairement, ce qui permet de faire une analyse par composant avec ou sans réutilisabilité.
- paramétrage : bornes temporelles, taille de fichiers, nombre de retransmissions.

Un tel protocole définit un système infini (parce qu'il est paramétré). Il ne peut donc être vérifié directement par les techniques classiques de vérification par modèle (à moins de définir une abstraction permettant d'en donner un modèle fini).

Ce protocole a déjà été analysé à l'aide de prouveurs seuls (PVS et Coq) ou en combinant la preuve avec la vérification à plat. Dans ce dernier cas, la preuve permet de valider les abstractions utilisées pour ramener le système infini à un système fini.

2.3. Travaux en cours

Chaque participant modélise le BRP dans son formalisme propre (VHDL, réseaux de Petri, flots de données), en adoptant les mêmes choix de modélisation des parties incomplètement définies dans la spécification du protocole (type de requête entrante, resynchronisation).

On s'intéresse particulièrement à la vérification de la propriété d'exclusion mutuelle des canaux de communication (interconnexion de deux occurrences d'un même module), et remplacement de ce module par un unique canal bidirectionnel. Les méthodes suivantes sont envisagées : analyse structurelle de réseaux de Petri, abstraction puis vérification de modèle, preuve dans Coq par des représentations co-itératives et des techniques de point-fixe gardés (schémas co-inductifs).

3. Objectifs visés à 1 an

Dégager les points forts de chaque technique de modélisation, les choix implicites dus à la connaissance de la technique de vérification/preuve suivant la modélisation.

Dégager les limites de chaque méthode de vérification/preuve en vue d'établir des complémentarités, dans le cadre d'un système modulaire.

Modélisation et Vérification de Systèmes Multi-Agents

Briot Jean-Pierre

Estraillier Pascal
Gervais Marie-Pierre

Chargé de Recherche, CNRS (OASIS)

Professeur, UPMC (SRC)

Maître de conférences, IUT Paris 5 (SRC)

Personnel temporaire

Diagne Alioune
Paviot-Adet Emmanuel

ATER, UPMC (SRC)

Postdoc, contrat CNET (SRC)

Doctorants présents 80% du temps au LIP6

Yoo Min Jung (Briot/Ferber, 95)

Description de l'action

La modélisation, l'analyse et la réalisation de systèmes logiciels décentralisés et coopératifs constituent des axes de recherche communs à plusieurs équipes du LIP6. Le thème OASIS travaille à des méthodologies, modèles et architectures multi-agents. Il a en particulier développé plusieurs formalismes de modélisation d'agents sous forme de composants (Yoo et al., 1998a ; 1998b). Le thème SRC travaille à des méthodes de vérification et de validation pour les systèmes répartis et coopératifs. Il a en particulier développé un formalisme de spécification et de vérification de composants logiciels (Diagne, 1997). Le but de ce projet est donc d'étudier dans quelle mesure il est possible de rapprocher et combiner ces expertises complémentaires dans le domaine de la spécification et vérification de systèmes multi-agents. Notons que les deux thèmes ont déjà débuté une collaboration dans le cadre d'une consultation thématique informelle (CTI) du CNET : le projet CARISMA (1996-1998) (CARISMA, 1998) sur un thème voisin et appliqué au commerce électronique. Le projet inter-thèmes est complémentaire du projet CARISMA en ce qu'il est distinct d'un type d'application spécifique et il est également à un niveau plus fondamental et vise à dépasser nos formalismes actuels.

Conception de systèmes multi-agents : le formalisme SCD

Le langage SCD (SoftComponent Description) est une description qui permet de modéliser des agents logiciels dans un environnement ouvert par approche componentielle (Yoo et al., 1998a ; 1998b). Les caractéristiques sont les suivantes :

- 1) SCD est une approche par composants. La modélisation d'un module revient à définir un composant facile à connecter et à remplacer par un autre composant SCD. Du fait de sa modification évolutive, la première exigence d'un système ouvert est sa *flexibilité*, c'est-à-dire la facilité à se modifier au cours de son cycle

de vie. Une partie du service doit pouvoir être modifiée sans remise en cause des autres. Pour changer efficacement et facilement, l'approche par composants est un bon moyen de modéliser un système ouvert.

- 2) Avec SCD, il est facile de modéliser les protocoles de coordination entre agents. La syntaxe SCD est basée sur la notion d'état/transition. Ceci permet de décrire facilement des protocoles de coordination d'agents qui sont importants pour réaliser l'aspect coopératif entre agents.
- 3) SCD permet d'encapsuler un module programmé en Java comme un composant. Ceci facilite le développement d'un service réel en utilisant les technologies courantes basées sur Java (e.g., Applets, Java Beans, JDBC).

Nous considérons différents types de composants SCD :

- 1) Composant élémentaire dont le comportement interne est décrit purement en SCD.
- 2) Composant primaire dont le comportement est programmé directement en Java.
- 3) Composant composite dont le comportement est modélisé par assemblage d'autres composants (de type 1, 2, ou 3).

Les différents types de composants sont connectés les uns aux autres par deux modes de communication : (1) communication asynchrone, et (2) communication synchrone.

Le modèle d'agent décrit en SCD est ensuite compilé en un code Java qui peut être intégré sur une plate-forme d'agents mobiles. Cette transformation automatique permet de dériver automatiquement une implantation d'agents mobiles dont le comportement correspond exactement au modèle de conception.

Vérification de systèmes répartis ouverts: le formalisme OF-Class

OF-Class (Diagne, 1997) est un modèle de composants conforme aux recommandations du modèle de référence d'ODP (Object Distributed Processing). Il permet de modéliser des composants d'un système réparti en vue d'une vérification au moyen de réseaux de Petri colorés. Les principales caractéristiques du modèle de composant sont :

- un composant OF-Class est un gestionnaire de ressources qui offre des opérations pour les manipuler. Ces opérations sont regroupées en services au moyen de gabarits d'utilisation.
- la différenciation des interactions entre appels d'opérations, échanges de données structurées et notifications d'événements (flux et signaux d'ODP).
- l'autonomie : un composant OF-Class peut posséder des traitements qui sont déclenchables en fonction d'une précondition sur les états atteints (valeurs des ressources).
- la possibilité de définir des composants de manière incrémentale par composition.
- le modèle est en correspondance de manière formelle avec un modèle modulaire de réseaux de Petri colorés qui supporte les activités de vérification et de validation.

Un (sous-)système peut être représenté à partir des différents modules qui le composent par édition des liens d'interfaces. L'environnement non spécifié est abstrait de façon à pouvoir lui envoyer une requête et récupérer ensuite un des résultats possibles pour cette requête.

Une fois la transformation en réseaux de Petri effectuée et l'abstraction de l'environnement ajoutée, on construit un graphe d'accessibilité du composant (élémentaire ou composite). Ce graphe est le point d'entrée de la vérification par *model-checking* qui permet de vérifier des propriétés élémentaires comme l'existence d'états terminaux ou des propriétés exprimées par des experts du domaine d'application dans une logique temporelle dédiée.

OF-Class et SCD : similitudes, différences et bases de convergence

Les travaux dans le cadre de ce projet ont porté principalement sur les bases de la convergence entre les formalismes SCD et OF-Class et leur intégration dans une méthodologie de spécification et de validation de systèmes multi-agents. Il en est ressorti que OF-Class peut être une base pour valider les aspects de contrôle liés aux protocoles de coordination utilisés dans SCD. En effet, il est possible de représenter les différentes structures d'interaction et de coordination utilisées dans SCD avec leur niveau de synchronisation (communication synchrone ou asynchrone). Néanmoins, il a fallu proposer une extension de SCD visant à rendre explicite un certain nombre d'informations nécessaires à la vérification. Par exemple les états de coordination de SCD doivent être typés (notamment spécifier explicitement les états initiaux et terminaux), et toutes les actions de coordination doivent être exprimées selon une approche de machine à états. Certaines informations comme le typage des variables est explicite au niveau des composants Java mais n'apparaît pas au niveau des composants SCD qui les encapsulent. Pour les besoins de la vérification, ces informations doivent être rendues explicites au niveau de SCD.

Avec ces extensions, nous pouvons traduire les composants SCD en composants OF-Class et procéder à la vérification des propriétés de coordination. La CTI CARISMA (CARISMA, 1998), spécifique à un domaine d'application particulier (commerce électronique), nous a donné l'occasion de tester ces résultats. Dans le cadre d'un petit scénario test de type réservation de plusieurs parcours par une agence de voyages, nous avons pu prouver que les protocoles de coordination étaient exempts de blocage. Ceci prouve que quelques soient les impacts des modules de croyances et d'intention des agents, leur communication suivant les protocoles spécifiés seront corrects.

Conclusion et perspectives

L'objectif de ce projet était d'étudier dans quelle mesure il était possible de rapprocher et de combiner les formalismes de conception et de validation de systèmes à base d'agents développés dans les thèmes OASIS et SRC. Notre étude a débouché sur des premiers résultats avec une identification des ajouts à faire dans le formalisme de conception de manière à pouvoir être utilisé au niveau de la validation. Nous avons pu tester les résultats de notre analyse à l'occasion d'un projet plus appliqué (la CTI CARISMA) sur un premier scénario d'utilisation. Un certain nombre de points restent à développer ou à étudier. Nous avons l'intention d'intégrer ces propositions dans une nouvelle version du formalisme de modélisation SCD. Un problème qui reste ouvert est celui de la cohérence entre le code généré et le modèle utilisé pour la validation (du fait des optimisations éventuelles intervenant lors de la génération de code).

Références

CARISMA, Rapport trimestriel N° 9 de la consultation thématique CARISMA, CNET, 1998.

- Diagne A., Architectural Concepts within Agents: A Way to Separate Concerns in Open Distributed Systems, Proceedings of the *Second IFIP International Conference on Formal Methods for Open Object-based Distributed Systems (FMOODS'97)*, édité par H. Bowman et J. Derrick, Canterbury, Royaume Uni, Chapman & Hall Publisher, juillet (1997) pp. 387-398.
- Gervais M.-P., Diagne A., Enhancing Telecommunication Service Engineering with Mobile Agent Technology and Formal Methods, Special issue on *Mobile Agents in Telecommunications*, édité par A. Karmouch, *IEEE Communications Magazine*, à paraître, 1998.
- Yoo M.-J., Briot J.-P., Ferber J., Using Components for Modeling Intelligent and Collaborative Mobile Agents, Proceedings of the *7th IEEE International Workshop on enabling Techniques: Infrastructure for collaborative enterprises, WetIce'98*, édité par D. Milojicic, Stanford University, CA, Etats-Unis, juin (1998).
- Yoo M.-J., Merlat W., Briot J.-P., Modeling and Validation of Mobile Agents on the Web, Proceedings of the 1998 *International Conference on Web-based Modeling and Simulation* (édité par P.A. Fischwick, D.R.C. Hill, et R. Smith, Simulation Series, 30(1), The Society for Computer Simulation, janvier (1998) pp. 23-28.

Formel Ocamel et Coq

Hardin Thérèse

Boulmé Sylvain

Lazard Daniel

Morain-Ménissier Valérie

Rioboo Renaud

Professeur, UPMC (SPI)

Doctorant, UPMC

Professeur, UPMC (CalFor)

Maître de Conférences, UPMC (CalFor)

Maître de Conférences, UPMC (CalFor)

Description de l'action

Le projet FOC résulte d'une collaboration entre les équipes CALFOR et SPI, entreprise en octobre 1994. Elle portait sur la faisabilité de la réalisation d'une interface entre le langage de calcul formel Axiom et le système d'aide à la preuve Coq. Le but était de permettre à l'implémenteur de calcul formel de mieux contrôler la correction de ses programmes. Ce projet s'est concrétisé par la thèse de G. Alexandre, soutenue en janvier 1998. Elle a montré la faisabilité de ce développement mais a mis en évidence un nombre non négligeable de difficultés, essentiellement liées à la mise en place de l'interface. Elles sont d'abord de nature syntaxique : les choix faits pour la définition des constructions du langage Axiom ne facilitent pas toujours la traduction des définitions et des actions des programmes dans le système de preuves. Elles sont surtout de nature sémantique certaines constructions du langage de programmation ont une sémantique parfois obscure, ce qui amène à des choix d'interprétation préjudiciables à l'assertion de la correction des programmes. Le projet repose également sur l'expérience de R. Rioboo, en tant que programmeur des nouveaux algorithmes issus de ses travaux de recherche sur les sous-résultats. Axiom s'est révélé commode parce qu'il offre de bonnes possibilités pour structurer les données manipulées en calcul formel et offre un typage fort et des conversions explicites. Mais sa sémantique parfois incertaine est là-aussi source de difficultés. De plus, les essais effectués ne sont pas toujours satisfaisants d'un point de vue efficacité. Il faut aussi mentionner dans ces préalables le travail de S. Boulmé (stage de DEA 97). Il a étudié les preuves d'une famille d'algorithmes utilisant les sous-résultats de manière à définir l'architecture d'une spécification formelle décrivant les traits communs à ces preuves et permettant les spécialisations nécessaires à chacune d'elles. On espère ainsi pouvoir réutiliser cette architecture pour prouver de nouveaux algorithmes et donc diminuer le temps de réalisation de leurs preuves. Le projet FOC a été mis en place suite à ces constatations, sur proposition de R. Rioboo, sur le sujet décrit dans la section ci-après.

Contenu du projet :

Il s'agit de construire un environnement de développement de programmes certifiés pour le calcul formel. Il faut donc un langage de preuves, un langage de programmation et des bibliothèques de structures algébriques. Celles-ci doivent fournir non seulement les implantations des outils classiques de manipulation de ces structures mais également leur

sémantique, sous la forme d'énoncés explicites de leurs propriétés (prouvées) et des pré-conditions à établir pour utiliser ces structures. Le langage de programmation lui-même doit, bien sûr, être sémantiquement fondé. Enfin, étant donnée la taille des problèmes à traiter en calcul formel, les problèmes d'efficacité sont au premier plan : il faut obtenir des temps d'exécution et d'occupation de la mémoire permettant des applications de taille réelle, ce qui représente un véritable défi. Le temps d'exécution de la preuve doit être, lui aussi, acceptable, même si elle n'intervient qu'au cours du développement.

D'un point de vue plus général, ce projet doit permettre de mieux cerner la compatibilité entre la possibilité de produire du code certifié, l'efficacité du code obtenu et la facilité d'utilisation des outils nécessaires, et cela dans le domaine encore peu exploré de la construction d'environnements de programmation symbolique certifiée. La mise en place de la hiérarchie des structures algébriques fournit un élément déterminant de mesure de ces différents éléments.

Les langages choisis sont Objective CAML (OCAML) pour la programmation et Coq pour le système d'aide à la preuve. OCAML, développé à l'INRIA, est un langage d'usage général, disposant de modules très puissants ainsi que tous les traits classiques des objets. Il offre de plus des possibilités très étendues de définition et de manipulation de structures de données très riches avec synthèse de type, des fonctions d'ordre supérieur qui facilitent la réutilisation, et des traits impératifs bien compris et un puissant mécanisme d'exceptions. Mais ce qui est pour nous fondamental est que la sémantique des différentes constructions de ce langage a été bien étudiée. Coq, également développé à l'INRIA, est un système d'aide à la preuve fondé sur un système de types très puissant, qui s'est révélé bien adapté à la preuve de résultats mathématiques. De plus, il est écrit en OCAML, ce qui devrait faciliter la réalisation de l'interface entre les composantes preuve et programmation. Du point de vue de l'efficacité, OCAML produit du code natif et les temps d'exécution observés, en particulier pour des programmes effectuant des manipulations symboliques, se sont révélés excellents.

Déroulement du projet :

Le projet doit comprendre trois phases, décrites ci-après. La première phase est une phase de choix. Le premier choix consiste à déterminer les représentations de la hiérarchie des structures algébriques, de manière à concilier au mieux facilité de programmation, réalisation de preuves et efficacité. Il faut alors déterminer la méthode d'implantation de cette hiérarchie en OCAML : quels sont les traits à décrire à l'aide de modules, quels sont ceux à traiter à l'aide de classes? Il faut ensuite établir en Coq la correspondance avec cette description, de manière à ce qu'elle soit facilement utilisable pour prouver les programmes des utilisateurs.

Le second choix concerne la représentation des structures algébriques elles-mêmes. En calcul formel, et particulièrement dans le domaine des polynômes en une et plusieurs variables (auquel le projet se limitera dans un premier temps), les structures de données se caractérisent par un haut niveau de paramétrage (les coefficients des polynômes peuvent appartenir à n'importe quel anneau, même à un anneau de polynômes) associé à la nécessité de nombreuses représentations concrètes. Ceci demande un grand nombre de fonctions de conversions qu'il faut, si possible, engendrer automatiquement. De plus, les mathématiques proposent souvent plusieurs visions d'une même entité algébrique (ainsi les polynômes peuvent être vus géométriquement comme des hyper-surfaces), qui servent notamment à simplifier les preuves. Il faut donc d'abord déterminer une organisation de la représentation des structures algébriques pour d'une part, factoriser au maximum les preuves de correction entre les différentes représentations, et d'autre part, distinguer clairement entre la preuve de l'algorithme et celle de la correction de son implantation dans une représentation particulière.

La seconde phase du projet sera consacrée au développement effectif de l'environnement, de manière à pouvoir implanter les différents algorithmes des sous-résultats. Elle amènera sans nul doute un certain nombre de questions théoriques, tant dans l'aspect programmation (interaction entre classes, modules, foncteurs) que du côté des preuves (modularité des preuves, développement de tactiques, etc.). C'est au cours de cette phase qu'il sera possible de tester l'efficacité des programmes directement extraits des spécifications Coq. Si celle-ci se révélait insuffisante, il faudrait alors effectuer une transformation raisonnée de ces programmes en vue d'accroître l'efficacité. Là encore, il s'agit d'un sujet de recherche ouvert. La phase ultime du projet consistera à étendre le développement vers d'autres méthodes de calcul formel (bases de Grobner, etc.). Les questions d'ergonomie doivent être posées dès le début du développement. En effet, la mise à disposition d'outils tels des moteurs de recherche par propriétés dans les bibliothèques peuvent nécessiter des extensions des représentations internes de données. De même, la génération automatique de définitions Coq à partir des textes de programme doit être un des éléments des choix de représentation évoqués plus haut. Enfin, l'interface homme-machine doit être adaptée aux habitudes des utilisateurs de calcul formel. Il faut aussi minimiser le volume de connaissances additionnelles à acquérir pour utiliser ce système, donc effectuer une recherche de nature plus pédagogique sur la présentation de ces outils.

Collaborations :

Le projet FOC fait partie de l'action incitative CFC (Calcul Formel Certifié) de l'INRIA, en collaboration avec les projets CRISTAL, CROAP et COQ de l'INRIA. Une collaboration européenne est en cours d'établissement.

Deux réunions d'une journée de CFC ont eu lieu en janvier et en avril 1998 dans nos locaux. La prochaine réunion aura lieu les 1-2 juillet 1998 à l'INRIA-Sophia. Ces réunions ont été très fructueuses. S. Boulme a effectué un séjour de 10 jours dans le projet CROAP à l'INRIA-Sophia, le travail a porté sur la partie Preuves du projet. Nous nous sommes également réunis avec le projet CRISTAL de Rocquencourt, afin de leur exposer nos choix de programmation et discuter avec eux de plusieurs problèmes rencontrés. Certaines de nos suggestions seront prises en compte dans la prochaine version de OCAML.

Etat d'avancement du projet en juin 1998 :

La première tâche a consisté en la mise en place d'un langage commun aux différents participants pour exprimer l'architecture des structures algébriques d'un point de vue mathématique, d'un point de vue sémantique et implantation. Cela nous a permis de définir plus complètement le cahier des charges du projet et de préciser les mécanismes d'héritage souhaités. La seconde tâche, menée d'ailleurs en parallèle avec la première, a consisté à développer trois prototypes d'implantation en OCAML. Le premier, utilisant principalement les objets de OCAML, a montré qu'une implantation naïve (un objet = un élément d'une structure) engendrait des complications sémantiques importantes. Il a donc été repris avec un point de vue différent (un objet = une implantation de structure) en utilisant les classes de manière moins conventionnelle. Le codage des liens d'héritage entre structures s'est révélé très bien adapté. Le prototype contient plus de 20 niveaux d'héritage. L'efficacité est assez bonne. Les principaux problèmes viennent du mécanisme de typage qui est trop peu précis : deux instances d'une même classe (les entiers modulo 2 et les entiers modulo 5 par exemple) ont un même type, donné par leur classe commune. Or, on souhaiterait profiter d'un mécanisme de typage pour les distinguer.

Le second prototype n'utilise que les modules de OCAML. L'efficacité est très bonne mais le développement s'est révélé très fastidieux. Il faut en effet simuler à la main le mécanisme d'héritage et la maintenance est fort rude.

Le troisième prototype allie traits objets et modules de OCAML. Son évolution a suivi et a parfois guidé les discussions sur notre vision de la hiérarchie des bibliothèques à mettre en place. Il constitue notre choix définitif. Les structures algébriques sont définies d'abord virtuellement (avec quelques méthodes par défaut), leur support étant en particulier représenté par un simple paramètre de type. On utilise là toute la technologie objet. Pour définir une implantation d'une structure donnée, on crée un module dans lequel le support est complètement défini et on y importe la classe définissant les propriétés de la structure. On profite ainsi du mécanisme de typage très fort des modules. Un rapport sur toute cette phase de développement incluant toute une série de mesures est en cours de rédaction.

Les discussions sur l'architecture de la hiérarchie, côté preuves, ont été menées en collaboration avec le projet CROAP de l'INRIA-Sophia, qui avait déjà décrit une partie de cette hiérarchie. Nous avons ainsi adopté une méthode commune de développement en Coq des bibliothèques de structures algébriques, de manière à partager nos développements. De plus, nous avons bien progressé sur la représentation en Coq de la structuration de l'implantation choisie en OCAML. Nous n'avons en effet pas les moyens d'étudier la représentation en Coq des mécanismes de modules et d'objets de OCAML dans toute leur généralité. Nous nous limitons donc à notre propre utilisation de ces traits.

En conclusion, le projet FOC est maintenant complètement défini, les choix essentiels concernant la programmation sont faits. Il reste à préciser encore l'articulation entre preuves et programmes et à concevoir l'interface homme-machine. Le travail de développement proprement dit, côté implantation, va commencer. Il va s'appuyer très fortement sur les prototypes déjà réalisés. Le point important est maintenant le développement côté preuves, il nécessite des approfondissements théoriques ainsi qu'une réflexion importante sur la méthodologie à utiliser afin de faciliter la réutilisation.

MICROB2 : Equipes de robots footballeurs

Drogoul Alexis
Zucker Jean-Daniel
Duhaut Dominique

Maître de Conférences, UPMC (OASIS)
Maître de Conférences, UPMC (APA)
Maître de Conférences, UPMC/UVSQ (L.R.P.)

ITA-IATOS
Mangon Olivier

Ingénieur d'étude, CNRS

Personnel temporaire
Magnin Laurent

Post-Doc, ETL (Tsukuba - Japon)

Doctorants présents 80% du temps au LIP6
Urbano Paulo (Drogoul, 98)

Description de l'action

Démarrées voici environ deux ans de façon parallèle un peu partout dans le monde, les recherches sur l'application de techniques d'IA et de robotique au football connaissent à l'heure actuelle un engouement sans doute comparable à ce que fut l'engouement pour le jeu d'échecs dans les glorieuses années de l'IA. La raison est que le jeu de football virtuel permet de tester, d'expérimenter, et surtout de comparer, au sein d'un environnement bien défini, régi par des règles strictes, toutes les techniques imaginables de coopération, de planification, de coordination ou d'apprentissage appliquées habituellement à des systèmes multi-agents plus... abstraits. Il possède également l'avantage de pouvoir confronter ces mêmes techniques à des contraintes expérimentales *réelles*. Il constitue aussi une bonne métaphore de ce que peut représenter le travail en équipe d'un ensemble d'agents (hors football), des difficultés qu'il y a à concevoir ce type de systèmes, tout en conservant une propriété essentielle : celle de pouvoir être interprété ou compris de façon quasi-intuitive par un observateur (ce qui est un atout certain, notamment en termes d'enseignement). Il permet enfin à l'IA de pouvoir renouer le dialogue avec un pan de la robotique auparavant passé avec armes et bagages du côté de la vie artificielle, à savoir la robotique collective constituée de robots mobiles et autonomes. Toutes ces raisons en font un champ applicatif quasi-parfait pour l'IA distribuée, l'apprentissage distribué et la robotique collective (les anglophones utiliseraient le terme de *killer-application*), bien plus riche en enseignements que ne le furent en leur temps des applications comme le proie-prédateur ou l'exploration collective.

L'action Microb2, qui est la suite logique de Microb, projet commun 93/96 du LAFORIA et du Laboratoire de Robotique de Paris, a pour ambition de fédérer autour de l'application des robots footballeurs les efforts de deux thèmes du LIP6, APA et OASIS. Elle s'inscrit dans un projet inter-laboratoires qui regroupe le LIP6, le LRP, le LIS et l'IFITEP. Ce projet a obtenu une dotation de 30 kF du LIP6.

Le contexte scientifique est celui de l'apprentissage multi-agent, qui résulte du métissage des thèmes de recherche propre à l'apprentissage (représenté ici par le thème APA) avec ceux étudiés en I.A.D. (thème OASIS). Il s'agit, à la fois, d'améliorer les techniques existantes d'apprentissage par l'emploi d'une distribution structurelle et fonctionnelle adéquate, et également d'améliorer et d'étendre les capacités des systèmes multi-agents en conférant aux agents des possibilités d'apprentissage et d'anticipation dans leurs comportements individuels et collectifs. Ce thème de recherche hybride est à l'heure actuelle en pleine expansion, et les robots footballeurs lui fournissent une excellente base d'expérimentations et de développement.

Le travail se décompose en trois grandes parties :

1. *Application* : conception du logiciel de quatre équipes différentes, correspondant aux quatre catégories de compétition qui composent le tournoi RoboCup'98 (Paris—La Villette, Juillet 1998) :

- **simulation** : développement d'une équipe entièrement logicielle de onze joueurs sur le simulateur commun SoccerServer, qui permet à des équipes de différents laboratoires de s'affronter.
- **petits robots** : développement des modules de décision individuelle et collective des cinq robots (15cm x 15cm) construits par l'IFITEP. La partie vision est assurée par le LIS.
- **robots moyens** : développement des modules de décision, de génération de trajectoire, et de contrôle des cinq robots (45cm x 45cm) construits par le LRP. La partie vision est assurée par le LIS.
- **robots à pattes** : développement des modules de génération de trajectoire et de décision des robots à pattes construits par SONY™, en collaboration avec le LRP, qui développe l'architecture de contrôle.

2. *Atelier de développement* : les comportements des différents agents (apprenants, réactifs, délibératifs, etc.) sont prévus pour être portés sur plusieurs plate-formes (simulation, petits et moyens robots), ce qui implique un travail soigné de généralisation, et l'emploi de modèles de comportements robustes. L'atelier de développement comprend une bibliothèque de composants comportementaux réutilisables, un environnement de test et d'entraînement (SoccerTrainer).

3. *Méthodologie* : parallèlement à l'implémentation, il est procédé à un travail plus théorique sur la notion même d'apprentissage en univers multi-agent : que doit-on apprendre ? comment apprend-on des procédures collectives ?, etc., qui aura pour ambition d'intégrer les processus d'apprentissage à la démarche méthodologique actuellement développée dans le thème OASIS (Cassiopée).

Concrètement, ce travail est partagé entre les permanents et un nombre non négligeable d'étudiants provenant de cursus différents : maîtrise, DEA IARFA, DESS GLA, DESS IA, l'IFITEP, etc. La gestion de ce projet requiert une coordination poussée des participants. Celle-ci est notamment permise par le site du projet : <http://www-apa.lip6.fr/~zucker/microbII.htm>.

Les objectifs affichés de l'action Microb2 se déclinent suivant les trois types de travaux définis ci-dessus. En ce qui concerne la partie *applicative*, l'objectif principal est d'être capable de représenter Paris VI lors de la seconde coupe du monde de robots footballeurs (Paris'98). Elle se déroulera du 2 au 8 Juillet 1998 à Paris, et rassemblera entre 100 et 200 équipes internationales. Elle aura lieu en même temps que la "vraie" coupe du monde (France'98) et bénéficiera, grâce à cette conjonction, d'une couverture médiatique

importante. Elle aura lieu à la Cité des Sciences de la Villette et sera ouverte au public (environ 5000 visiteurs/jour y sont attendus). Ce sera l'occasion pour, d'une part, valoriser des recherches dont nous savons tous qu'elles ont souvent du mal à franchir les portes des laboratoires, et d'autre part, nous comparer aux autres équipes. A ce jour, l'équipe MICROB II possède un milieu de terrain et une attaque raisonnable. Les efforts se porteront dans les mois qui suivent sur l'amélioration de la défense. En ce qui concerne la partie *atelier de développement*, les travaux concrets ont encore peu avancé mais la contrainte de portabilité logiciel/matériel a été prise en compte dans les spécifications des composants. La construction d'un environnement de test et d'entraînement *SoccerTrainer* est, quand à elle, dans la bonne voie et nous espérons pouvoir l'utiliser avant la compétition proprement dite. En ce qui concerne la partie méthodologique, le travail déjà réalisé a donné lieu à un rapport interne LIP6 à paraître (Drogoul & Zucker, 1998).

L'action MICROB2 a permis d'établir une collaboration inter-laboratoires (LIP6, le LRP, le LIS et l'IFITEP) qui fonctionne de manière efficace. Les prochains mois permettront de mieux évaluer le succès scientifique globale de cette action.

Bibliographie:

Drogoul A. & Zucker J.-D., Methodological Issues for Designing Multi-Agent Systems with Machine Learning Techniques: Capitalizing Experiences from the RoboCup Challenge, Rapport de recherche LIP6 (1998) à paraître.

Webliographie

L'équipe MICROB2 : <http://www-apa.lip6.fr/~zucker/microbII.htm>

Paris 98 : <http://www-poleia-lip6.fr/~drogoul/paris98/whatisit.html>

RoboCup : <http://www.csl.sony.co.jp/person/kitano/RoboCup/RoboCup.html>

MiroSot : <http://www.mirosot.org>

Mondes virtuels interopérables par apprentissage

Soto Michel
Zucker Jean-Daniel

Maître de Conférences, Université Paris 5 (RP)
Maître de Conférences, Université Paris 6 (APA)

Doctorants présents 80% du temps au LIP6
Allongue Sébastien (Soto/Horlait, 95)

Description de l'action

Les problèmes à résoudre dans le domaine de la réalité virtuelle (RV) sont nombreux. Parmi ces problèmes, le projet NOVAE s'attaque à l'interopérabilité des mondes virtuels.

L'interopérabilité est une propriété qui permet, d'une part, à des utilisateurs de mondes virtuels distincts d'accomplir des tâches communes (collaboration, coopération, jeux) et, d'autre part, de migrer des entités virtuelles d'un monde virtuel à l'autre. Cette propriété est importante car elle permet d'ouvrir les mondes virtuels qui sont, pour l'heure, des mondes clos. Les enjeux de l'interopérabilité sont la «généralisation» de la RV comme outil de collaboration dans tous les domaines applicables et la réduction des coûts de développement des mondes virtuels.

L'interopérabilité doit faire face aux problèmes engendrés par l'hétérogénéité des mondes virtuels et en particulier l'hétérogénéité sémantique à laquelle les utilisateurs sont les plus sensibles. L'approche choisie dans le thème RP est une méthodologie de conception des mondes RV qui prend en compte l'hétérogénéité sémantique; ce qui n'est pas fait actuellement par ailleurs. La méthodologie développée permet une faculté d'interopérabilité intéressante mais qui doit être renforcée pour être totalement efficace. Ces capacités permettront de mieux gérer les similitudes et différences entre mondes RV interopérant. Le but de l'action menée ici avec le thème APA est d'intégrer des techniques d'apprentissage dans les environnements virtuels pour accroître leurs capacités à interopérer.

Les résultats de cette action est un prototype de 2 mondes virtuels exemples illustrant comment des techniques d'apprentissage peuvent accroître les possibilités d'interopérer de ces mondes. Depuis le mois d'avril 1998 deux stagiaires travaillent à la réalisation de ce prototype jusqu'au mois de septembre.

Gestion de Systèmes de Production Multi-Produits à Flux Tirés

Dallery Yves

Baynat Bruno
Chrétienne Philippe
Munier Alix

Directeur de Recherche, CNRS (R&P)
Maître de Conférences, UPMC (R&P)
Professeur, UPMC (SYSDEF)
Maître de Conférences, UPMC (SYSDEF)

Personnel temporaire

Ghedjati Fatima
Karaesmen Fikri

Post-doc (SYSDEF)
Post-doc CEE (R&P)

Doctorants présents 80% du temps au LIP6

de Véricourt Francis (Dallery, 97)

(R&P)

Description de l'action

Contexte du projet

La réduction des coûts de production est un enjeu essentiel dans tous les secteurs industriels. Simultanément, les entreprises se doivent d'améliorer leur *qualité de service* vis-à-vis de leurs clients. Cela concerne en particulier la diversification de l'offre de produits, l'amélioration de la qualité des produits et la réduction des délais entre les commandes et les livraisons. Afin de satisfaire aux contraintes sur les délais, les entreprises opèrent souvent sur un mode d'anticipation, au moins pour les parties amonts de la production. Le problème est alors la définition du pilotage des flux dans le cas d'une production par anticipation. L'approche qui est apparue la plus intéressante pour répondre à ce problème est la *gestion à flux tirés*. Son principe est de coupler la production à la demande effective.

Les systèmes de pilotage à flux tirés sont basés sur l'approche suivante : le processus de production est décomposé en étages (ou mailles). Chaque étage correspond à un sous-système du système de production d'origine. Le rôle d'une politique de pilotage à flux tirés est de coordonner l'ensemble des mailles de production entre elles et avec la demande effective de produits finis. L'objectif est de garantir une qualité de service pour les clients (par exemple, assurer que 99% des demandes sont satisfaites sans retard) tout en minimisant les coûts de production (en particulier les coûts de stockage de produits intermédiaires et de produits finis). Il existe deux méthodes de base, la méthode à stock nominal et la méthode kanban. Ces deux méthodes sont très simples puisqu'elles ne dépendent que d'un paramètre par maille (le niveau de stock nominal pour la première, le nombre de kanbans pour la seconde). Une méthode plus générale, la méthode *kanban généralisé*, a ensuite été proposée par J. Buzacott et P. Zipkin. La méthode kanban est de loin la méthode la plus utilisée dans l'industrie, du fait de sa simplicité.

Au sein du thème Réseaux et Performances, l'équipe animée par Y. Dallery, s'intéresse depuis plusieurs années aux systèmes de production à flux tirés. Les travaux ont tout d'abord porté sur le développement de méthodes analytiques d'évaluation de performances de systèmes de production gérés avec des politiques de type kanban. Les recherches se sont ensuite orientées vers la comparaison de différentes méthodes de gestion à flux tirés en vue de déterminer les mieux adaptées. Il est alors apparu que les méthodes existantes ne répondaient pas totalement aux objectifs mentionnés plus haut. Une nouvelle méthode, appelée *kanban étendu*, a été proposée. Cette méthode est plus générale que les méthodes à stock nominal et kanban et plus simple que la méthode kanban généralisé. Pour plus de détails et pour les références, on se reportera au rapport du thème Réseaux et Performances.

Objectif du projet

La plupart des travaux sur les systèmes de gestion à flux tirés portent sur des systèmes de production mono-produit, c'est-à-dire ne fabriquant qu'un seul type de produit. Bien que ce cas se rencontre dans l'industrie, il existe aussi de nombreuses situations où un même système de production fabrique plusieurs types de produits. L'objectif de ce projet est de s'intéresser à des systèmes de production multi-produits gérés en flux tirés. Nous allons tout d'abord nous intéresser au cas le plus simple, celui d'un système de production flexible dont les coûts et les temps de reconfiguration pour passer d'un produit à un autre sont négligeables. L'approche que nous nous proposons de suivre est la suivante : étendre les politiques de gestion à flux tirés (au sens de la coordination entre mailles de production) au cas de systèmes multi-produits.

Une fois le mode de coordination défini, le problème nouveau qui se pose (par rapport au cas mono-produit) est le problème du partage de ressources (machines,...) à l'intérieur de chaque maille. Ce problème peut alors être vu comme un problème d'ordonnancement. C'est sur ce point particulier essentiel que se développera la collaboration entre les thèmes R&P et SYSDEF. Le thème SYSDEF, et en particulier l'équipe de Ph. Chrétienne, ont une forte compétence sur la résolution de problèmes d'ordonnancement et d'optimisation. C'est cette complémentarité d'expertise des différentes équipes qui sera utilisée dans le cadre de ce projet avec comme objectif la définition de politiques de gestion de systèmes de production à flux tirés incluant les problèmes de coordination et d'ordonnancement.

Le problème qui se pose est complexe du fait de la nature stochastique de la modélisation des problèmes de pilotage de systèmes de production à flux tirés. En effet, les demandes sur les produits finis ne sont pas connues à l'avance et doivent donc être modélisées par un processus stochastique. Le système de production lui-même est souvent modélisé de manière stochastique pour prendre en compte sa variabilité (par exemple due aux pannes des machines). L'un des enjeux de ce projet est d'évaluer l'apport d'approches d'ordonnancement qui sont habituellement développées dans des contextes déterministes.

Premiers travaux

Avant d'aborder le problème dans le contexte général décrit plus haut, un premier travail a porté sur l'étude d'un cas particulier : le cas d'un système de production comportant une seule machine produisant deux types de produits. Les hypothèses du modèle étudié sont les suivantes. Le processus d'arrivée des demandes de chaque produit est un processus de Poisson et le temps de production de chaque type de produit sur la machine suit une distribution exponentielle. Les coûts de stocks de produits finis et les coûts sur les demandes en retard sont linéaires. L'objectif est de définir la politique de pilotage du système (faire travailler la machine ou pas, et si oui sur quel type de produit) qui minimise le coût moyen total. On peut formuler ce problème comme un problème de commande optimale stochastique que l'on peut aborder à l'aide de l'approche de la programmation

dynamique. Nos travaux ont permis d'obtenir une caractérisation partielle de la solution optimale. De plus, à partir de cette caractérisation, nous avons testé différentes heuristiques qui conduisent à des coûts proches du coût optimal (que l'on peut obtenir par des méthodes numériques). Ces résultats sont présentés dans (de Véricourt et al, 1998). L'intérêt de ce travail est double : il a permis d'apporter une solution dans le cas d'un système comportant une machine fabricant deux types de produit. Il a surtout mis en évidence certaines propriétés concernant la politique de pilotage optimale qui devraient être utiles pour aborder des cas plus généraux.

Nos travaux suivent actuellement deux voies. La première consiste à utiliser les résultats que nous avons obtenus pour le cas une machine / deux produits afin de proposer des heuristiques de pilotage pour le cas de deux machines / deux produits. Le but est de définir des heuristiques qui tout en restant simples, permettent une bonne optimisation de la fonction coût. L'autre approche que nous suivons en parallèle consiste à se donner une décomposition d'un système de production multi-machines / multi-produits en un ensemble de mailles, de se donner aussi la politique de coordination entre mailles (par exemple de type kanban) et de se poser de problème de la gestion du partage de ressources entre les différents produits à l'intérieur de chaque maille. C'est dans cette voie que nous tentons actuellement de formuler ce problème de gestion interne à chaque maille comme un problème d'ordonnancement.

de Véricourt F., Karaesmen F., Dallery Y., Dynamic Scheduling in a make-to-stock system: a partial characterization of optimal policies, Rapport de Recherche LIP6, No. 98-022, 1998.